

화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발

(표지양식 사용)

2015. 10.

명지대학교 산학협력단

연구보고서

화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발

김태옥 · 신동일 · 장서일 · 노연주

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

1. 연구제목 : 화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발

2. 연구 필요성 및 목적

최근 화학물질의 누출로 인한 각종 사고가 꾸준히 발생하고 있으며, 이를 계기로 화학물질 및 화학물질의 취급설비 등에 대한 각종 법적 요구사항과 기준 강화가 요구되고 있다. 이에 따라 우리나라의 경우는 화학물질의 안전한 취급과 관리에 대해 「산업안전보건법」, 「화학물질관리법」, 「위험물안전관리법」, 「소방기본법」, 「고압가스안전관리법」 등의 다양한 법률이 운영되고 있다. 이들 각각의 법률에서 화학물질은 해당 법률의 목적과 적용범위에 따라 화학물질의 위험성 또는 유해성을 근거로 분류체계를 적용하고 있으며, 이러한 분류체계에 따른 법적 요구사항을 차별화하고 있다.

현재 유해·위험물질(PSM 대상) 및 금지·허가·관리 대상물질 등은 어느 정도 물리적 위험성과 건강 유해성을 고려하여 물질을 분류하고, 요구기준을 달리하고 있으나, 이것은 일부분에 지나지 않는다. 즉, 근로자에게 건강장해를 유발하거나, 화재·폭발 등 사고 발생의 우려가 있는 화학물질에 대해서는 건강 유해성과 물리적 위험성을 평가하고, 산업안전보건법상의 규제수준을 조정하여 적절히 관리할 필요가 있다. 특히, 건강 유해성의 정도를 고려하여 금지·허가·관리대상 물질이 분류된 반면, 화재나 폭발 위험성 등의 물리적 위험성을 고려한 화학물질의 평가·분류체계는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 화학물질의 물리적 위험성 정도를 어떤 기준으로 평가하고, 체계화할 것인가에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별

표 1]에서 단순히 사용량으로 구분되어 있는 위험물질에 대해 물질 및 사용조건 등에 따른 위험등급을 구축함으로써 화재·폭발로 인한 사고예방에 필요한 설비 등의 기준을 효율적이고, 합리적으로 체계화하는 기초자료를 구축할 필요가 있다. 특히, 안전보건공단에서 2014년도에 수행한 「화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구」에서 발견된 문제점을 보완한 발전된 등급 분류 모델식을 개발할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 화재·폭발 등 화학물질의 물리적 위험성의 정도를 평가·분류하여 위험등급별로 체계적으로 관리할 수 있는 기준을 마련하기 위하여 화학물질의 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식을 개발하여 주요 화학물질의 위험성 등급분류를 하고, 제도적인 관리방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

3. 연구 내용 및 방법

1) 연구내용

- (1) 화재·폭발에 관여하는 인자의 상관관계를 고려한 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 도출
 - 기존에 수행된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 검토
 - 국내·외 문헌조사 및 관련 소프트웨어 조사
 - 기존 수행된 연구를 활용한 발전된 모델 개발
- (2) 위험성이 알려진 화학물질의 활용 및 산업안전보건법 분류기준과의 비교를 통한 모델식 검증
 - 산업안전보건법 분류기준과 개발된 모델식의 부합도 검토

- (3) 검증된 모델식을 활용한 화학물질의 등급분류 및 타당성 검토
 - 개발된 모델식을 활용하여 화학물질 등급분류 실시
 - 국내·외 유사 등급분류와 비교·검토하여 타당성 검토
- (4) 개발된 모델식의 산업안전보건법 반영방안 제시 등
 - 산업안전보건법(법, 시행령 시행규칙, 고시 포함)에 실효성 있는 반영 방안 제시

2) 연구방법

- (1) 기초조사 (문헌조사, 인터넷 조사 등)
 - 2014년도에 수행된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 조사
 - 국내·외 문헌조사 및 관련 소프트웨어 조사
 - 화학물질의 물리적 위험성 조사
 - 국내·외 유사 등급분류 조사 등
- (2) 조사내용 분석 및 연구 (브레인스토밍, 전문가 의견 등)
 - 기 연구된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 분석
 - 기존 수행된 연구를 활용한 발전된 모델 개발
 - 산업안전보건법 분류기준과 개발된 모델식의 부합도 검토
 - 개발된 모델식을 활용하여 화학물질 등급분류 실시
 - 국내·외 유사 등급분류와 비교·검토하여 타당성 검토
- (3) 의견수렴 (전문가 자문 및 브레인스토밍, 연구회의 개최 등)

- 도출된 모델식(안)의 타당성 검토
- 개발된 모델식을 활용한 화학물질 등급분류(안) 검토
- 산업안전보건법에 실효성 있는 반영방안 제시(안) 검토

4. 연구결과

본 연구에서는 국내·외 화학물질 분류체계와 위험성 등급분류에 대한 자료를 조사·분석하고, 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류에 대한 선행 연구(2014년) 결과를 분석하였다.

그리고 선행 연구결과에서 나타난 문제점을 해결하기 위하여 위험성 매트릭스 산출방법을 사용하여 인화성 액체 및 기체와 인화성 고체에 대해 화재·폭발 위험성 산출식을 제안하였고, 이를 바탕으로 주요 화학물질에 대해 화재 및 폭발 위험성과 화재·폭발 위험성에 대한 등급분류를 실시하고, 유사 연구결과와 비교·분석하여 화재·폭발 위험성 등급분류 결과를 검증하였다.

또한 본 연구에서 제시한 화재·폭발 위험성 산출방안과 등급분류 결과를 활용한 사업장의 위험물질 관리방안과 제도적 개선방안을 제시하였다.

5. 활용방안 및 기대성과

1) 활용방안

- 개발된 화재·폭발 위험성 분류방법을 사용하여 사업장을 고위험물질, 중위험물질 및 저위험물질 취급사업장으로 구분하는데 활용
- 물리적 위험성을 고려한 화학물질 화재·폭발 위험등급 평가방법은 PSM 비대상 사업장(예, 중·저위험군 화학공장 및 화학물질 취급사업장)에 적용하여 화학물질의 체계적인 관리에 활용

- 사업장의 중대산업사고를 예방하기 위한 기초자료로 활용
- 화학물질 화재·폭발 위험등급에 따른 제도적 관리방안을 반영한 법률 개정안의 기초자료로 활용

2) 기대성과

- 고위험 및 중위험 사업장을 체계적으로 관리할 수 있어서 중대산업사고 예방에 기여
- 위험물질을 취급하는 사업장에 안전의식을 고취하는데 기여

6. 중심어

위험등급, 위험지수, 물리적 위험성, 화재 및 폭발, 화학물질

7. 참고문헌 및 연락처

1) 참고문헌

- 양혁승 외, 화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구, 산업안전보건연구원, 2014
- 이근원 외, 화학물질 혼합위험성 결정을 위한 반응성 매트릭스 개발 (I), 산업안전보건연구원, 2014
- NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2012
- UN, Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS), 4th ed, 2011

- Anna-Mari Heikkilä, “Inherent Safety in Process Plant Design An Index-Based Approach”, Ph. D. Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, 1999

2) 연락처

- 연구책임자 : 명지대학교 산학협력단(화학공학과) 김태옥 교수
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 화학물질센터 이근원 팀장, 한인수 연구위원
- 연락처 : T)031-330-6388, F)031-337-1920, E) kimto@mju.ac.kr

차 례

요약문	i
I. 서 론	1
1. 연구 개요	1
2. 선행 연구사례 검토	6
II. 국내·외 화학물질 분류체계	13
1. 국내 화학물질 분류체계	13
2. 국외 화학물질 분류체계 등	39
III. 선행 연구결과 분석	67
1. 선행 연구결과	67
2. 선행 연구결과 분석	80
IV. 화학물질의 물리적 위험성 산출 모델식 개발 및 위험성 등급분류 ...	101
1. 화학물질의 화재·폭발 위험성 산출 모델식 개발	101
2. 주요 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류	110
3. 주요 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류 비교·분석	116
V. 화학물질의 위험등급에 따른 제도개선 방안	125
1. 제도개선의 필요성	125
2. 제도개선 방안	125

VI. 결 론	129
기호설명	137
참고문헌	141
부 록	145
Abstract	151

표 차 례

<표 2-1> GHS 분류표	39
<표 2-2> 폭발성과 관련된 원자단(작용기)	42
<표 2-3> 화학구조에 의한 평가	43
<표 2-4> 수송이 금지되어 있는 폭발성 물질 및 물품 등급	44
<표 2-5> 가스 분류기준	45
<표 2-6> 인화성 액체 분류기준	46
<표 2-7> 자기 반응성에 관련된 원자단	46
<표 2-8> 화재지수 등급 결정기준	50
<표 2-9> 불안정성지수 등급 결정기준	52
<표 2-10> NFPA의 물반응성(water reactivity) 지수등급 및 결정기준	55
<표 2-11> UN RTDG에 의한 위험물 분류	55
<표 2-12> 물질계수 산정지침	58
<표 2-13> 반응성 물질의 반응위험지수	58
<표 2-14> 정규화된 폭압압력 및 폭발압력속도 기반 압력 위험성 등급지수	60
<표 2-15> 주반응열 및 부반응열 위험등급 서브지수	62
<표 2-16> 화학물질 화학적 상호작용 위험등급 서브지수	62
<표 2-17> 가연성 위험등급 서브지수	63
<표 2-18> 폭발성 위험등급 서브지수	63

<표 2-19> 일부 물질에 대한 LFL, UFL, UFL-LFL 및 증류연소속도 자료	64
<표 2-20> 연료의 반응성, 증류연소속도 및 누출 주변의 장애물 밀집도를 고려한 위험등급	65
<표 2-21> 분진입자 크기 및 Kst를 고려한 분진 위험등급	65
<표 3-1> 선행연구(2014년)의 인화성 등급	68
<표 3-2> 선행연구(2014년)의 연소열 등급	69
<표 3-3> 선행연구(2014년)의 증류연소속도 등급	69
<표 3-4> 선행연구(2014년)의 자연발화온도 등급	69
<표 3-5> 선행연구(2014년)의 생성열 등급	70
<표 3-6> 선행연구(2014년)에서 인화성 액체 및 기체의 위험등급에 따른 화재·폭발 위험지수	70
<표 3-7> 선행연구(2014년)의 폭발 전·후 몰수 변화 등급	73
<표 3-8> 선행연구(2014년)의 폭연점 등급	73
<표 3-9> 선행연구(2014년)의 폭발속도 등급	74
<표 3-10> 선행연구(2014년)의 생성열 등급	74
<표 3-11> 선행연구(2014년)의 폭발열 등급	74
<표 3-12> 선행연구(2014년)에서 인화성 고체의 위험등급에 따른 화재·폭발 위험지수	75
<표 3-13> 선행연구(2014년)에서 50종의 인화성 액체 및 기체에 대한 위험물질 구분결과	77
<표 3-14> 선행연구(2014년)에서 27종의 인화성 고체에 대한 위험물질 구분결과	79
<표 3-15> 인화성 등급	93

<표 3-16> 인화성 액체 및 기체의 인화성지수 등급	93
<표 3-17> 수정된 연소열 등급	94
<표 3-18> 인화성 액체 및 기체의 연소열지수 등급	95
<표 3-19> 수정된 연속속도 등급	96
<표 3-20> 인화성 액체 및 기체의 연소속도지수 등급	96
<표 3-21> 수정된 폭연점 등급	97
<표 3-22> 수정된 폭발열 등급	98
<표 3-23> 수정된 폭굉속도 등급	98
<표 3-24> 인화성 고체의 폭연점지수 등급	98
<표 3-25> 인화성 고체의 폭발열지수 등급	99
<표 3-26> 인화성 고체의 폭굉속도지수 등급	100
<표 4-1> 사고 위험성 산출 5×5 매트릭스	101
<표 4-2> 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수	105
<표 4-3> 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수	109
<표 4-4> 화재 및 폭발 위험성 등급분류 기준표	111
<표 4-5> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험성 등급	111
<표 4-6> 주요 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성 등급	113
<표 4-7> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급	115
<표 4-8> 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급분류 결과	117
<표 4-9> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급 분류 결과 비교	117
<표 4-10> 이근원 등(2014년)의 위험성 등급분류 기준표	120
<표 4-11> 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급 분류결과 비교	120

<표 6-1> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험성 등급분류 결과	131
<표 6-2> 주요 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성 등급분류 결과 ..	132
<표 6-3> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급분류 결과	133
<표 6-4> 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급분류 결과	134

그림 차례

[그림 1-1]	연구추진체계	5
[그림 2-1]	국내 화학물질 분류체계 조사대상	13
[그림 3-1]	인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소열지수 비교	81
[그림 3-2]	인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소속도지수 비교 ...	82
[그림 3-3]	인화성 액체 및 기체의 생성열지수 유의성	83
[그림 3-4]	인화성 액체 및 기체의 AIT지수와 인화성지수 비교	85
[그림 3-5]	인화성 액체 및 기체의 AIT지수 유의성	86
[그림 3-6]	인화성 고체의 생성열지수와 폭발열지수 및 폭굉속도지수 비교	88
[그림 3-7]	인화성 고체의 생성열지수 유의성	89
[그림 3-8]	인화성 고체의 VEG지수와 폭발열지수 및 폭굉속도지수 비교	90
[그림 3-9]	인화성 고체의 VEG지수 유의성	91
[그림 3-10]	위험지수의 군집화 방법	92

I. 서론

1. 연구 개요

1) 연구 목적 및 필요성

최근 화학물질의 누출로 인한 각종 사고가 꾸준히 발생하고 있으며, 이를 계기로 화학물질 및 화학물질의 취급설비 등에 대한 각종 법적 요구사항과 기준 강화가 요구되고 있다.

따라서 우리나라의 경우 현재 화학물질의 안전한 취급과 관리를 위해 「산업안전보건법」, 「화학물질관리법」, 「위험물안전관리법」, 「소방기본법」, 「고압가스안전관리법」 등의 다양한 법률이 운영되고 있다. 이들 각각의 법률에서는 해당 법률의 목적과 적용범위에 따라 적용대상 화학물질의 위험성 또는 유해성을 근거로 분류체계를 적용하고 있으며, 이러한 분류체계에 따른 법적 요구사항을 차별화하고 있다.

「산업안전보건법」에서는 화학물질의 건강 유해성에 따라 제조 등이 금지되는 유해물질(금지대상물질, 같은 법 시행령 제29조), 허가대상물질(같은 법 시행령 제30조), 허용기준 이하 유지대상 유해인자(같은 법 시행령 제31조), 관리대상물질(산업안전보건기준에 관한 규칙 제420조 및 별표 12) 등으로 구분하고 있다. 또한 같은 법 시행령 [별표 10]에는 PSM 대상 규제물질(유해·위험물질)을 규정하고 있고, 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 [별표 1]에는 위험물질의 종류를 제시하고 있다.

그러나 이들 화학물질은 물질의 특성에 따라 건강 유해성이나 물리적 위험성의 정도가 다르기 때문에 각 물질의 취급설비나 취급방법에 대해 차별화된 기준을 적용하는 것이 보다 합리적일 것이다. 현재 유해·위험물질(PSM 대상)

및 금지·허가·관리 대상물질 등은 어느 정도 물리적 위험성과 건강 유해성을 고려하여 물질을 분류하여 요구기준을 달리하고 있으나, 이것은 일부분에 지나지 않는다. 즉, 근로자에게 건강장해를 유발하거나, 화재·폭발 등 사고 발생의 우려가 있는 화학물질에 대해서는 건강 유해성과 물리적 위험성을 평가하고, 산업안전보건법상의 규제수준을 조정하여 적절히 관리할 필요가 있다. 특히, 건강 유해성의 정도를 고려하여 금지·허가·관리대상 물질이 분류된 반면, 화재나 폭발 위험성 등의 물리적 위험성을 고려한 화학물질의 평가·분류 체계는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 화학물질의 물리적 위험성 정도를 어떤 기준으로 평가하고, 체계화할 것인가에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 1]에서 단순히 사용량으로 구분되어 있는 위험물질에 대해 물질 및 사용조건 등에 따른 위험등급을 구축함으로써 화재·폭발로 인한 사고예방에 필요한 설비 등의 기준을 효율적이고, 합리적으로 체계화하는 기초자료를 구축할 필요가 있다. 특히, 안전보건공단에서는 2014년도에 「화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구」를 수행하였으나, 객관적인 검증이 부족하고, 위험물 등급분류 방법과 등급분류 결과 등에서 발견된 문제점을 보완한 발전된 등급분류 모델식을 개발할 필요가 있다.

2) 연구목표

본 연구는 화재·폭발 등 화학물질의 물리적 위험성 정도를 평가·분류하여 화학물질의 위험등급별로 체계적으로 관리할 수 있는 기준을 마련하기 위하여 화학물질의 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식을 개발하는 것을 목적으로 한다.

따라서 이와 같은 연구목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 세부목표를 수립하고, 이를 수행하였다.

- 화재·폭발에 관여하는 인자의 상관관계를 고려한 물리적 위험성 등급분

류를 위한 모델식 도출

- 위험성이 알려진 화학물질의 활용 및 산업안전보건법 분류기준과의 비교를 통한 모델식 검증
- 검증된 모델식을 활용한 화학물질의 등급분류 및 타당성 검토
- 개발된 모델식의 산업안전보건법 반영방안 제시 등

3) 연구내용 및 방법

(1) 연구내용 및 범위

본 연구의 세부목표별 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- 가) 화재·폭발에 관여하는 인자의 상관관계를 고려한 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 도출
 - 기존에 수행된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 검토
 - 국내·외 문헌조사 및 관련 소프트웨어 조사
 - 기존 수행된 연구를 활용한 발전된 모델 개발
- 나) 위험성이 알려진 화학물질의 활용 및 산업안전보건법 분류기준과의 비교를 통한 모델식 검증
 - 산업안전보건법 분류기준과 개발된 모델식의 부합도 검토
- 다) 검증된 모델식을 활용한 화학물질의 등급분류 및 타당성 검토
 - 개발된 모델식을 활용하여 화학물질 등급분류 실시
 - 국내·외 유사 등급분류와 비교·검토하여 타당성 검토
- 라) 개발된 모델식의 산업안전보건법 반영방안 제시 등

- 산업안전보건법(법, 시행령 시행규칙, 고시 포함)에 실효성 있는 반영 방안 제시

(2) 연구방법

본 연구는 화학물질의 위험성과 관련된 국내·외 기준, 연구결과, 사례 등을 수집·분석하고, 고용노동부, 연구상대역 및 전문가 등의 의견수렴을 통해 수행되는 것이 효과적이다.

따라서 다음과 같이 기초조사와 자문회의, 브레인스토밍 등을 통하여 연구를 수행한다.

가) 기초조사 (문헌조사, 인터넷 조사 등)

- 2014년도에 수행된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 조사
- 국내·외 문헌조사 및 관련 소프트웨어 조사
- 화학물질의 물리적 위험성 조사
- 국내·외 유사 등급분류 조사 등

나) 조사내용 분석 및 연구 (브레인스토밍, 전문가 의견 등)

- 기 연구된 “화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구”의 모델식 분석
- 기존 수행된 연구를 활용한 발전된 모델 개발
- 산업안전보건법 분류기준과 개발된 모델식의 부합도 검토
- 개발된 모델식을 활용하여 화학물질 등급분류 실시
- 국내·외 유사 등급분류와 비교·검토하여 타당성 검토
- ※ 위의 연구와 관련하여 필요한 경우에는 현장 방문 및 전문가(수학자 또는 통계학자, 위험물 및 위험성 평가 전문가 등)의 의견 수렴 실

시

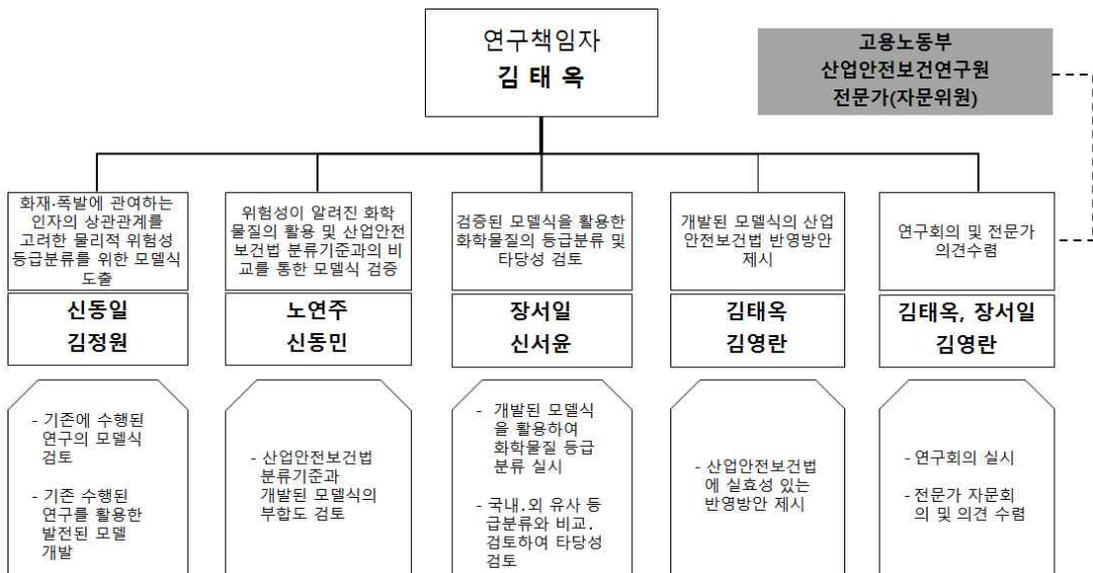
다) 의견수렴 (전문가 자문 및 브레인스토밍, 연구회의 개최 등)

- 도출된 모델식(안)의 타당성 검토
- 개발된 모델식을 활용한 화학물질 등급분류(안) 검토
- 산업안전보건법에 실효성 있는 반영방안 제시(안) 검토

※ 전문가 자문 : 학계 및 산업계 등의 관련분야 전문가(수학자 또는 통계학자, 위험물 및 위험성 평가 전문가 등)의 자문

※ 연구회의 개최 : 고용노동부, 산업안전보건연구원(용역상대역) 담당자, 연구진 등과의 연구회의 개최

4) 연구추진체계



[그림 1-1] 연구추진체계

5) 활용방안 및 기대효과

(1) 활용방안

- 개발된 화재·폭발 위험성 분류방법을 사용하여 사업장을 고위험물질, 중위험물질 및 저위험물질 취급사업장으로 구분하는데 활용
- 물리적 위험성을 고려한 화학물질 화재·폭발 위험등급 평가방법은 PSM 비대상 사업장(예로, 중·저위험군 화학공장 및 화학물질 취급사업장)에 적용하여 화학물질의 체계적인 관리에 활용
- 사업장의 중대산업사고를 예방하기 위한 기초자료로 활용
- 화학물질 화재·폭발 위험등급에 따른 제도적 관리방안을 반영한 법률 개정안의 기초자료로 활용

(2) 기대효과

- 고위험 및 중위험 사업장을 체계적으로 관리할 수 있어서 중대산업사고 예방에 기여
- 위험물질을 취급하는 사업장에 안전의식을 고취하는데 기여

2. 선행 연구사례 검토

화학물질의 위험성 및 유해성을 고려하여 안전관리 규제를 합리적으로 차등 관리하고자 하는 연구는 공정안전보고서 작성 및 제출에 관한 제도, 즉 공정안전관리제도(이하 “PSM”이라 함)의 적용대상 등의 연구에서 수행된 바 있다.

이 밖에 화학물질 자체의 위험성을 나타내는 지수로는 인화점에 따라 화재 위험성을 분류하는 GHS 분류기준, 인화점과 끓는점을 고려하여 화재위험지수를 분류하는 NFPA Rating 및 인화점과 취급온도에 따라 화재·폭발 위험성을 분류하는 상대위험지수(Dow F&EI)의 물질계수 등이 있다.

본 연구는 화재·폭발 등의 물리적 위험성에 따라 관리수준을 합리적으로 분류할 수 있는 기준을 마련하기 위한 것이므로, 이를 위하여 PSM 관련 선행 연구와 화학물질의 위험성에 관한 최근의 연구내용을 간략히 정리하면 다음과 같다.

1) 공정안전관리제도 적용대상 기준 합리화방안에 대한 연구(2008년)

영국 등 EU 회원국 및 미국에서도 국내 PSM 제도와 유사한 제도를 운영하고 있으므로, 이들 해외의 유사제도 적용대상 기준과 국내 PSM 제도 적용대상 기준을 비교·분석하였다. 특히, 규정된 유해·화학물질의 종류와 수량이 매우 달라서 우리나라의 경우 단일물질 19종과 물질군 2종뿐인데 반하여 미국은 135종, EU는 단일물질 39종과 물질군 13종으로 우리나라의 규정물질 종류보다 많은 실정이다. 또한 유해·화학물질의 규정량의 기준과 혼합물에 대한 판단기준도 다르게 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 미국, EU, 영국 등 선진외국의 공정안전보고서 적용대상기준을 비교하고, 국내 사업장 화학물질의 유통량 조사결과를 분석한 후 업종에 관계없이 규정 수량 이상의 물질을 취급하는 사업장을 적용대상으로 하는 것을 제안하였다. 또한 설비에서 누출될 수 있는 물질까지 규정량을 비교하도록 제안하였으며, 업종구분을 삭제하는 대신 폭발성 물질 및 독성물질 등 다양한 물질군을 도입할 것을 제안하였다.

2) PSM 제도 적용대상 물질 확대방안 등에 대한 연구(2011년)

중대산업사고를 예방하는데 목적을 둔 PSM 제도는 대상 사업장에서의 사고 발생을 억제하는데 효과를 보이고 있다고 판단되지만, 비대상 사업장에서 화학물질로 인한 화재·폭발사고가 발생하고 있고, 해외에 비해 위험물질의 목록이 현저히 적어서 현행 제도의 적용대상 사업장에 대한 검토가 필요하였다.

따라서 본 연구에서는 국내 PSM제도의 적용대상 선정기준을 유해위험물질의 취급 및 저장량으로 일원화하고, 선행 연구결과 및 선진국 제도와의 비교결과를 토대로 적용대상 물질의 종류와 규정수량을 확대하는 방안을 제시하였다. 즉, 현재 규제대상이 되었던 7개 업종의 사업장에서 주로 사용하는 위험물질을 파악하여 단일물질목록에 추가·제안하고, 업종에 따른 PSM 제도 적용대상 기준을 폐지할 것을 제안하였다. 또한 국내에서 유통되는 상위 물질 등을 고려하여 선행연구에서 제안된 규제대상 위험물질 목록에 대해 해외 규제현황과 물질의 위험성 및 국내 산업단지의 특성을 고려하여 물질선정 및 규정수량 선정의 타당성과 적절성을 검토하였다. 그 결과, 인화성 기체에 대한 규정수량의 변경, 29개 단일물질의 추가, 기존 단일물질의 규정수량 조정 등을 제안하였다.

3) 불산 등 유해물질의 위험성 조사 및 PSM 제도 등 규제 강화에 관한 연구(2013년)

「유해화학물질관리법」에서 사고대비물질로 지정·관리하고 있는 불산 등은 2013년까지 PSM 제도 적용대상 물질에 포함되지 않고 있었으나, 이들 물질은 농도에 따라 위험성이 달라지고, 특정 농도 이상에서는 노출 시 근로자에게 심각한 상해를 입힐 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 물질(불산, 염산, 수산화암모늄, 발연황산)에 대한 위험성을 검토하고, 국내·외 산업재해 발생 현황 및 화학물질 누출사고, 국내·외 화학물질 규제제도 현황, 대상 화학물질의 제조·취급·저장 실태, 규제 확대에 따른 비용편익 분석 등을 연구하였다. 이를 위하여 미국 EPA의 RMP 규정수량을 결정방법을 분석하고, 이를 바탕으로 규정수량 계산, 농도 변화에 따른 끓는점 및 증기압 또는 폭발특성(수산화암모늄인 경우 해당) 등의 위험특성 등을 조사하였다.

연구결과, 연구대상물질 중 불산, 염산, 수산화암모늄, 발연황산(황산 제외)은 PSM 제도 적용대상 물질로 규제하여 관련 설비를 체계적으로 관리할 것을 제

안하였고, 도급인가 대상에 대상물질 취급작업을 추가하는 것이 필요하다고 하였다. 또한 연구대상물질을 PSM 제도 적용대상 물질로 확대할 경우 적정한 농도 및 규정량 그리고 관련물질(불화수소, 염화수소, 암모니아)의 규정량 조정 등을 제안하고, 비용-편익분석을 통해 규제 강화로 인한 정책 경제성이 있다고 하였다.

4) 화학사고 예방을 위한 공정안전관리(PSM)제도 개선방안 마련(2014년)

본 연구에서는 국내·외 PSM 관련 유사제도, 연구결과, 사고사례 등을 조사·분석하고, PSM 대상사업장을 대상으로 한 설문조사·분석 및 중대산업사고 예방제도 개선을 위한 워크숍을 실시하여 PSM 제도 및 동 제도 운영실태를 파악하였다. 그리고 중대산업사고예방센터 등의 PSM 담당자와 PSM 전문가의 의견을 수렴하여 PSM 제도개선 방안을 마련하였다.

연구결과, PSM 보고서 작성·심사·확인 방법의 합리적 개선방안으로, 기업실정에 맞는 공정안전보고서 작성, 근로자의 보고서 작성 참여 증대, 안전성 확보와 실행 가능한 심사방법 등을 제안하였고, PSM 이행상태평가 항목과 배점조정(안)을 제시하였다. 또한 도급업체 관리기준 강화방안으로, 원·하청의 역할분담, 원청의 하청에 대한 정보 제공, 정비·보수작업 시 하청 근로자 보호, 사고 예방을 위한 하청업체 선정 등의 방안을 제시하였다. 그리고 작동이 가능한 비상조치계획 수립방안으로, 작동상의 문제점 개선, 비상사태시나리오 작성 개선, 비상사태시나리오와 비상조치계획의 연계, 내부비상조치계획과 외부비상조치계획의 연계, 주민홍보계획 개선 등의 방안을 제시하였다.

5) 화학물질의 위험지수(F&EI, NEFA Rating)

화학물질 자체의 화재·폭발과 관련된 위험성을 나타내는 방법은 GHS 분류

기준의 인화성 등급, 상대위험지수(Dow Index, F&EI)의 물질계수 및 NFPA의 화재위험지수(Nf) 등이 널리 활용되고 있다.

GHS 분류기준에 따르면 인화성 물질은 성상에 따라 기체, 에어로졸, 액체, 고체로 분류되며, 각각은 인화점이나 가연범위에 따라 등급이 분류된다. 그리고 상대위험지수 중 물질계수는 물질의 연소열, 인화점, 끓는점 및 NFPA의 화재위험지수(Nf), 보건위험지수(Nh), 반응위험지수(Nr) 등을 고려하여 결정한다. 특히, 단위공정의 온도를 고려하여 동일한 물질이라 할지라도 사용 또는 취급 온도에 따라 물질계수의 값이 다르게 적용될 수 있다. 참고로 상대위험지수는 물질계수 뿐만 아니라 설비의 운전조건 등을 고려하여 전반적인 위험성을 평가하는 도구이다.

NFPA Rating은 미국소방학회(NFPA, National Fire Protection Association)에서 발간한 핸드북 중 하나에서 제안하고 있는 것으로, 물질의 위험성을 화재위험성 측면(fire), 보건 유해성 측면(health), 반응 위험성 측면(reactivity), 기타 특수 위험성 측면으로 구분하여 0부터 4까지의 숫자로 표현한 것을 말한다. 이 가운데 화재위험지수는 순물질, 혼합물 또는 화합물의 인화성을 인화점에 따라 5가지 등급으로 구분한 수치를 말한다.

6) 화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구(2014년)

본 연구에서는 Heikkila 연구결과를 바탕으로, 물질을 인화성 액체 및 기체와 인화성 고체로 구분하여 위험특성별로 위험등급을 설정하고, 이를 서브지수화하여 이들의 합으로 화학물질의 위험지수를 결정하는 물리적 위험성 등급 분류(안)을 제시하였다. 그리고 PSM 제출대상 및 사고대비 물질과 우리가 많이 사용하는 물질에 적용하여 물질을 서열화 한 사례를 제시하였으며, 또한 공정조건에 따른 위험지수를 결정할 수 있는 간단한 방법도 제시하였다. 다만, 제시된 위험물질 지수는 특성별 서브지수가 가산성이 있다는 것을 전제로, 특성별 서브지수를 동일하게 취급하여 이들의 합으로 결정하도록 하였다. 그러나 물질의

위험특성 간에는 화재·폭발에 영향을 주는 강도가 다를 수 있기 때문에 실질적으로 같은 정도로 기여하지 않으나, 이를 반영하지 못하였다.

7) 화학물질 혼합위험성 결정을 위한 반응성 매트릭스 개발(I)(2014년)

본 연구에서는 화재 및 폭발 위험성을 고려한 체계적인 화학물질 관리를 위해 미국 ASTM에서 개발한 CHETAH 프로그램과 NFPA 인화성 등급을 활용하여 PSM 제출대상 및 사고대비 물질을 중심으로, 화재 및 폭발 위험성을 평가하였다. 즉, 에너지 방출수준은 화학물질의 폭발과 관련된 위험성 지수로 평가하여 최대분해열과 산소지수(OI)를 곱으로 나타내었다. 그리고 화재·폭발 위험성을 고려한 위험성 등급은 폭발에 관여되는 에너지 방출수준과 화재에 관여하는 화재지수의 곱으로 평가하였다. 또한 CHETAH에서 추정된 폭발방출 에너지와 NFPA 인화성을 이용하여 위험성을 추정할 수 있는 가능성을 확인하고, 위험성 기준표를 활용하여 화학물질의 화재·폭발을 고려한 위험성에 따라 연구대상 화학물질을 3단계(고위험물질, 중위험물질, 저위험물질)로 분류하였다.

II. 국내 · 외 화학물질 분류체계

1. 국내 화학물질 분류체계

국내 화학물질 분류체계는 산업안전보건법, 화학물질관리법, 위험물안전관리법, 소방기본법 그리고 고압가스안전관리법에 대해 조사하였다.



[그림 2-1] 국내 화학물질 분류체계 조사대상

1) 산업안전보건법

산업안전보건법에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과 같다.

- 시행령 제29조(제조 등이 금지되는 유해물질)
- 시행령 제30조(허가 대상 유해물질)
- 시행령 제31조(허용기준 이하 유지 대상 유해인자)
- 시행령 제33조의6(공정안전보고서의 제출 대상)
- 시행령 [별표 10] 유해·위험물질 규정량(kg)

또한 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과 같다.

- 제16조(위험물 등의 보관)
- 제420조(정의)
- [별표1] 위험물질의 종류
- [별표12] 관리대상 유해물질의 종류

(1) 산업안전보건법 시행령

시행령 제29조(제조 등이 금지되는 유해물질) 법 제37조제1항에 따라 제조·수입·양도·제공 또는 사용이 금지되는 유해물질은 다음 각 호와 같다. <개정2010.2.24., 2010.7.12., 2014.12.9.>

1. 황린(黃磷) 성냥
2. 백연을 함유한 페인트(함유된 용량의 비율이 2퍼센트 이하인 것은 제외한다)
3. 폴리클로리네이티드터페닐(PCT)
4. 4-니트로디페닐과 그 염
5. 악티노라이트석면, 안소필라이트석면 및 트레모라이트석면
6. 베타-나프틸아민과 그 염
7. 청석면 및 갈석면
8. 벤젠을 함유하는 고무풀(함유된 용량의 비율이 5퍼센트 이하인 것은 제외한다)
9. 제3호부터 제7호까지의 어느 하나에 해당하는 물질을 함유한 제제(함유된 중량의 비율이 1퍼센트 이하인 것은 제외한다)
10. 「화학물질관리법」 제2조제4호에 따른 제한물질 및 같은 조 제5호에 따른 금지물질
11. 그 밖에 보건상 해로운 물질로서 산업재해보상보험및예방심의위원회의 심의를 거쳐 고용노동부장관이 정하는 유해물질

시행령 제30조(허가대상 유해물질) 법 제38조제1항에 따라 제조 또는 사용허가를 받아야 하는 유해물질은 다음 각 호와 같다. <개정 2010.2.24., 2010.7.12., 2012.1.26.>

1. 디클로로벤지딘과 그 염
 2. 알파-나프틸아민과 그 염
 3. 크롬산 아연
 4. 오로토-톨리딘과 그 염
 5. 디아니시딘과 그 염
 6. 베릴륨
 7. 비소 및 그 무기화합물
-

-
8. 크롬광(열을 가하여 소성 처리하는 경우만 해당한다)
 9. 휘발성 콜타르피치
 10. 황화니켈
 11. 염화비닐
 12. 벤조트리클로리드
 13. 백석면
 14. 제1호부터 제11호까지 및 제13호의 어느 하나에 해당하는 물질을 함유한 제제(함유된 중량의 비율이 1퍼센트 이하인 것은 제외한다)
 15. 제12호의 물질을 함유한 제제(함유된 중량의 비율이 0.5퍼센트 이하인 것은 제외한다)
 16. 그 밖에 보건상 해로운 물질로서 고용노동부장관이 산업재해보상보험및예방심의위원회의 심의를 거쳐 정하는 유해물질

시행령 제31조(허용기준 이하 유지대상 유해인자) 법 제39조의2제1항 각 호 외의 부분 본문에서 "대통령령으로 정하는 유해인자"란 다음 각 호와 같다.

1. 납 및 그 무기화합물
2. 니켈(불용성 무기화합물로 한정한다)
3. 디메틸포름아미드
4. 벤젠
5. 2-브로모프로판
6. 석면(제조·사용하는 경우만 해당한다)
7. 6가크롬 화합물
8. 이황화탄소
9. 카드뮴 및 그 화합물
10. 톨루엔-2, 4-디이소시아네이트
11. 트리클로로에틸렌
12. 포름알데히드
13. 노말렉산

시행령 제33조의6(공정안전보고서의 제출대상) ① 법 제49조의2제1항 전단에서 "대통령령으로 정하는 유해·위험설비"란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업을 하는 사업장의 경우에는 그 보유설비를 말하고, 그 외의 사업을 하는 사업장의 경우에는 **별표 10**에 따른 유해·위험물질 중 하나 이상을 같은 표에 따른 규정량 이상 제조·취급·저장하는 설비 및 그 설비의 운영과 관련된 모든 공정설비를 말한다. <개정 2012.1.26., 2014.3.12.>

1. 원유 정제처리업
 2. 기타 석유정제물 재처리업
 3. 석유화학계 기초화학물질 제조업 또는 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업. 다만, 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업은 별표 10의 제1호 또는 제2호에 해당하는 경우로 한정한다.
 4. 질소, 인산 및 칼리질 비료 제조업(인산 및 칼리질 비료 제조업에 해당하는 경우는 제외한다)
 5. 복합비료 제조업(단순혼합 또는 배합에 의한 경우는 제외한다)
-

6. 농약 제조업(원제 제조만 해당한다)
7. 화약 및 불꽃제품 제조업
- ② 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 설비는 유해·위험설비로 보지 아니한다. <개정 2010.7.12., 2012.1.26.>
 1. 원자력 설비
 2. 군사시설
 3. 사업주가 해당 사업장 내에서 직접 사용하기 위한 난방용 연료의 저장설비 및 사용설비
 4. 도매·소매시설
 5. 차량 등의 운송설비
 6. 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」에 따른 액화석유가스의 충전·저장시설
 7. 「도시가스사업법」에 따른 가스공급시설
 8. 그 밖에 고용노동부장관이 누출·화재·폭발 등으로 인한 피해의 정도가 크지 않다고 인정하여 고시하는 설비
- ③ 법 제49조의2제1항에서 "대통령령으로 정하는 사고"란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사고를 말한다. <신설 2012.1.26.>
 1. 근로자가 사망하거나 부상을 입을 수 있는 제1항에 따른 설비(제2항에 따른 설비는 제외한다. 이하 제2호에서 같다)에서의 누출·화재·폭발 사고
 2. 인근지역의 주민이 인적 피해를 입을 수 있는 제1항에 따른 설비에서의 누출·화재·폭발 사고

시행령 [별표 10] 유해·위험물질 규정량(kg)

번호	유해·위험물질	규정량(kg)
1	인화성 가스	제조·취급: 5,000(저장: 200,000)
2	인화성 액체	제조·취급: 5,000(저장: 200,000)
3	메틸 이소시아네이트	제조·취급·저장: 150
4	포스젠	제조·취급·저장: 750
5	아크릴로니트릴	제조·취급·저장: 20,000
6	암모니아	제조·취급·저장: 200,000
7	염소	제조·취급·저장: 20,000
8	이산화황	제조·취급·저장: 250,000
9	삼산화황	제조·취급·저장: 75,000
10	이황화탄소	제조·취급·저장: 5,000
11	시아나화수소	제조·취급·저장: 1,000
12	불화수소(무수불산)	제조·취급·저장: 1,000
13	염화수소(무수염산)	제조·취급·저장: 20,000
14	황화수소	제조·취급·저장: 1,000
15	질산암모늄	제조·취급·저장: 500,000
16	니트로글리세린	제조·취급·저장: 10,000
17	트리니트로톨루엔	제조·취급·저장: 50,000
18	수소	제조·취급·저장: 50,000
19	산화에틸렌	제조·취급·저장: 10,000

번호	유해·위험물질	규정량(kg)
20	포스핀	제조·취급·저장: 50
21	실란(Silane)	제조·취급·저장: 50
22	질산(중량 94.5% 이상)	제조·취급·저장: 250
23	발연황산(삼산화황 중량 65% 이상 80% 미만)	제조·취급·저장: 500,000
24	과산화수소(중량 52% 이상)	제조·취급·저장: 3,500
25	톨루엔디이소시아네이트	제조·취급·저장: 100,000
26	클로로술포산	제조·취급·저장: 500,000
27	브롬화수소	제조·취급·저장: 2,500
28	삼염화인	제조·취급·저장: 750,000
29	염화 벤질	제조·취급·저장: 750,000
30	이산화염소	제조·취급·저장: 500
31	염화티오닐	제조·취급·저장: 150
32	브롬	제조·취급·저장: 100,000
33	일산화질소	제조·취급·저장: 1,000
34	붕소 트리염화물	제조·취급·저장: 1,500
35	메틸에틸케톤과산화물	제조·취급·저장: 2,500
36	삼불화 붕소	제조·취급·저장: 150
37	니트로아닐린	제조·취급·저장: 2,500
38	염소 트리플루오르화	제조·취급·저장: 500
39	불소	제조·취급·저장: 20,000
40	시아누르 플루오르화물	제조·취급·저장: 50
41	질소 트리플루오르화물	제조·취급·저장: 2,500
42	니트로 셀룰로오스(질소 함유량 12.6% 이상)	제조·취급·저장: 100,000
43	과산화벤조일	제조·취급·저장: 3,500
44	과염소산 암모늄	제조·취급·저장: 3,500
45	디클로로실란	제조·취급·저장: 1,500
46	디에틸 알루미늄 염화물	제조·취급·저장: 2,500
47	디이소프로필 퍼옥시디카보네이트	제조·취급·저장: 3,500
48	불산(중량 1% 이상)	제조·취급·저장: 1,000
49	염산(중량 10% 이상)	제조·취급·저장: 20,000
50	황산(중량 10% 이상)	제조·취급·저장: 20,000
51	암모니아수(중량 10% 이상)	제조·취급·저장: 20,000

비고

1. 인화성 가스란 인화한계 농도의 최저한도가 13퍼센트 이하 또는 최고한도와 최저한도의 차가 12퍼센트 이상인 것으로서 표준압력(101.3 kPa)하의 20°C에서 가스 상태인 물질을 말한다.
2. 인화성 액체란 표준압력(101.3 kPa)하에서 인화점이 60°C 이하이거나 고온·고압의 공정한조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말한다.
3. 인화점의 수치는 타구밀폐식 또는 펜스키말테식 등의 인화점 측정기로 표준압력(101.3 kPa)에서 측정한 수치 중 작은 수치를 말한다.
4. 유해·위험물질의 규정량이란 제조·취급·저장 설비에서 공정과정 중에 저장되는 양을 포함하여 하루 동안 최대로 제조·취급 또는 저장할 수 있는 양을 말한다.
5. 규정량은 화학물질의 순도 100퍼센트를 기준으로 산출하되, 농도가 규정되어 있는 화학물질은 해당 농도를 기준으로 한다.

6. 두 종류 이상의 유해·위험물질을 제조·취급·저장하는 경우에는 해당 유해·위험물질 각각의 제조·취급·저장량을 구한 후 다음 공식에 따라 산출한 값 R이 1 이상인 경우 유해·위험설비로 본다. 이때 동일한 유해·위험물질을 제조·취급·저장하는 경우 각각의 양을 모두 고려한다.

$$R = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

주) C_n: 위험물질 각각의 제조·취급·저장량

T_n: 위험물질 각각의 규정량

7. 가스를 전문으로 저장·판매하는 시설 내의 가스는 제외한다.

(2) 산업안전보건에 관한 규칙

제16조(위험물 등의 보관) 사업주는 **별표 1**에 규정된 위험물질을 작업장 외의 별도의 장소에 보관하여야 하며, 작업장 내부에는 작업에 필요한 양만 두어야 한다.

제420조(정의) 이 장에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <개정 2012.3.5., 2013.3.21.>

1. "관리대상 유해물질"이란 법 제24조제1항제1호에 따른 원재료·가스·증기·분진 등으로서 유기화합물, 금속류, 산·알칼리류, 가스상태 물질류 등 **별표 12**에서 정한 물질을 말한다.
2. "유기화합물"이란 상온·상압(常壓)에서 휘발성이 있는 액체로서 다른 물질을 녹이는 성질이 있는 유기용제(有機溶劑)를 포함한 탄화수소계화합물 중 **별표 12** 제1호에 따른 물질을 말한다.
3. "금속류"란 고체가 되었을 때 금속광택이 나고 전기·열을 잘 전달하며, 전성(展性)과 연성(延性)을 가진 물질 중 **별표 12** 제2호에 따른 물질을 말한다.
4. "산·알칼리류"란 수용액(水溶液) 중에서 해리(解離)하여 수소이온을 생성하고 염기와 중화하여 염을 만드는 물질과 산을 중화하는 수산화화합물로서 물에 녹는 물질 중 **별표 12** 제3호에 따른 물질을 말한다.
5. "가스상태 물질류"란 상온·상압에서 사용하거나 발생하는 가스상태의 물질로서 **별표 12** 제4호에 따른 물질을 말한다.
6. "특별관리물질"이란 「산업안전보건법 시행규칙」 **별표 11**의2제1호나목에 따른 발암성, 생식세포 변이원성, 생식독성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 일으킬 우려가 있는 물질로서 **별표 12**에서 특별관리물질로 표기된 물질을 말한다.
7. "유기화합물 취급 특별장소"란 유기화합물을 취급하는 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 장소를 말한다.

- 가. 선박의 내부
- 나. 차량의 내부
- 다. 탱크의 내부(반응기 등 화학설비 포함)
- 라. 터널이나 갱의 내부
- 마. 맨홀의 내부
- 바. 피트의 내부

- 사. 통풍이 충분하지 않은 수로의 내부
- 아. 덕트의 내부
- 자. 수관(水管)의 내부
- 차. 그 밖에 통풍이 충분하지 않은 장소
- 8. "임시작업"이란 일시적으로 하는 작업 중 월 24시간 미만인 작업을 말한다. 다만, 월 10시간 이상 24시간 미만인 작업이 매월 행하여지는 작업은 제외한다.
- 9. "단시간작업"이란 관리대상 유해물질을 취급하는 시간이 1일 1시간 미만인 작업을 말한다. 다만, 1일 1시간 미만인 작업이 매일 수행되는 경우는 제외한다.

[별표 1]

위험물질의 종류(제16조·제17조 및 제225조 관련)

1. 폭발성 물질 및 유기과산화물
 - 가. 질산에스테르류
 - 나. 니트로화합물
 - 다. 니트로소화합물
 - 라. 아조화합물
 - 마. 디아조화합물
 - 바. 하이드라진 유도체
 - 사. 유기과산화물
 - 아. 그 밖에 가목부터 사목까지의 물질과 같은 정도의 폭발 위험이 있는 물질
 - 자. 가목부터 아목까지의 물질을 함유한 물질
2. 물반응성 물질 및 인화성 고체
 - 가. 리튬
 - 나. 칼륨·나트륨
 - 다. 황
 - 라. 황린
 - 마. 황화인·적린
 - 바. 셀룰로이드류
 - 사. 알킬알루미늄·알킬리튬
 - 아. 마그네슘 분말
 - 자. 금속 분말(마그네슘 분말은 제외한다)
 - 차. 알칼리금속(리튬·칼륨 및 나트륨은 제외한다)
 - 카. 유기 금속화합물(알킬알루미늄 및 알킬리튬은 제외한다)
 - 타. 금속의 수소화물
 - 파. 금속의 인화물
 - 하. 칼슘 탄화물, 알루미늄 탄화물
 - 거. 그 밖에 가목부터 하목까지의 물질과 같은 정도의 발화성 또는 인화성이 있는 물질
 - 너. 가목부터 거목까지의 물질을 함유한 물질

3. 산화성 액체 및 산화성 고체

- 가. 차아염소산 및 그 염류
- 나. 아염소산 및 그 염류
- 다. 염소산 및 그 염류
- 라. 과염소산 및 그 염류
- 마. 브롬산 및 그 염류
- 바. 요오드산 및 그 염류
- 사. 과산화수소 및 무기 과산화물
- 아. 질산 및 그 염류
- 자. 과망간산 및 그 염류
- 차. 중크롬산 및 그 염류
- 카. 그 밖에 가목부터 차목까지의 물질과 같은 정도의 산화성이 있는 물질
- 타. 가목부터 카목까지의 물질을 함유한 물질

4. 인화성 액체

- 가. 에틸에테르, 가솔린, 아세트알데히드, 산화프로필렌, 그 밖에 인화점이 섭씨 23도 미만이고 초기끓는점이 섭씨 35도 이하인 물질
- 나. 노르말헥산, 아세톤, 메틸에틸케톤, 메틸알코올, 에틸알코올, 이황화탄소, 그 밖에 인화점이 섭씨 23도 미만이고 초기 끓는점이 섭씨 35도를 초과하는 물질
- 다. 크실렌, 아세트산아밀, 등유, 경유, 테레핀유, 이소아밀알코올, 아세트산, 하이드라진, 그 밖에 인화점이 섭씨 23도 이상 섭씨 60도 이하인 물질

5. 인화성 가스

- 가. 수소
- 나. 아세틸렌
- 다. 에틸렌
- 라. 메탄
- 마. 에탄
- 바. 프로판
- 사. 부탄
- 아. 영 별표 10에 따른 인화성 가스

6. 부식성 물질

- 가. 부식성 산류
 - (1) 농도가 20퍼센트 이상인 염산, 황산, 질산, 그 밖에 이와 같은 정도 이상의 부식성을 가지는 물질
 - (2) 농도가 60퍼센트 이상인 인산, 아세트산, 불산, 그 밖에 이와 같은 정도 이상의 부식성을 가지는 물질
 - 나. 부식성 염기류
 - 농도가 40퍼센트 이상인 수산화나트륨, 수산화칼륨, 그 밖에 이와 같은 정도 이상의 부식성을 가지는 염기류
-

7. 급성 독성 물질

- 가. 쥐에 대한 경구투입시험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD50(경구, 쥐)이 킬로그램당 300밀리그램-(체중) 이하인 화학물질
- 나. 쥐 또는 토끼에 대한 경피흡수시험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD50(경피, 토끼 또는 쥐)이 킬로그램당 1000밀리그램 -(체중) 이하인 화학물질
- 다. 쥐에 대한 4시간 동안의 흡입시험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 농도, 즉 가스 LC50(쥐, 4시간 흡입)이 2500ppm 이하인 화학물질, 증기 LC50(쥐, 4시간 흡입)이 10mg/ℓ 이하인 화학물질, 분진 또는 미스트 1mg/ℓ 이하인 화학물질

[별표 12] <개정 2013.3.21.>

관리대상 유해물질의 종류(제420조, 제439조 및 제440조 관련)

- 1. 유기화합물(113종)
 - 가. 글루타르알데히드
 - 나. 니트로글리세린
 - 다. 니트로메탄
 - 라. 니트로벤젠
 - 마. p-니트로아닐린
 - 바. p-니트로클로로벤젠
 - 사. 디니트로톨루엔
 - 아. 디메틸아닐린
 - 자. 디메틸아민
 - 차. N,N-디메틸아세트아미드
 - 카. 디메틸포름아미드
 - 타. 디에탄올아민
 - 파. 디에틸렌 트리아민
 - 하. 2-디에틸아미노에탄올
 - 거. 디에틸아민
 - 너. 디에틸 에테르
 - 더. 1,4-디옥산
 - 러. 디이소부틸케톤
 - 머. 디클로로메탄
 - 버. o-디클로로벤젠
 - 서. 1,2-디클로로에틸렌
 - 어. 디클로로플루오로메탄
 - 저. 1,1-디클로로-1-플루오로에탄
 - 쳐. 디하이드록시벤젠
 - 커. 2-메톡시에탄올

- 터. 2-메톡시에틸아세테이트
 - 피. 메틸렌 디(비스)페닐 디이소시아네이트
 - 히. 메틸 아민
 - 고. 메틸 알코올
 - 노. 메틸 에틸 케톤
 - 도. 메틸 이소부틸 케톤
 - 로. 메틸 클로라이드
 - 모. 메틸 n-부틸케톤
 - 보. 메틸 n-아밀케톤
 - 소. o-메틸시클로헥사논
 - 오. 메틸시클로헥사놀
 - 조. 메틸클로로포름
 - 초. 무수 말레인
 - 코. 무수프탈산
 - 토. 벤젠(특별관리물질)
 - 포. 1,3-부타디엔(특별관리물질)
 - 호. 2-부톡시에탄올
 - 구. n-부틸알코올
 - 누. sec-부틸알코올
 - 두. 1-브로모프로판(특별관리물질)
 - 루. 2-브로모프로판(특별관리물질)
 - 무. 브롬화 메틸
 - 부. 비닐 아세테이트
 - 수. 사염화탄소(특별관리물질)
 - 우. 스토다드 솔벤트
 - 주. 스티렌
 - 추. 시클로헥사논
 - 쿠. 시클로헥사놀
 - 투. 시클로헥산
 - 푸. 시클로헥센
 - 후. 아닐린 및 그 동족체
 - 그. 아세토니트릴
 - 느. 아세톤
 - 드. 아세트알데히드
 - 르. 아크릴로니트릴
 - 므. 아크릴아미드
 - 브. 알릴글리시딜에테르
 - 스. 에탄올아민
 - 으. 2-에톡시에탄올
 - 즈. 2-에톡시에틸아세테이트
-

츠. 에틸렌글리콜
 크. 에틸렌글리콜 디니트레이트
 트. 에틸렌글리콜 모노 부틸 아세테이트
 프. 에틸렌이민
 흐. 에틸렌 클로로히드린
 기. 에틸벤젠
 니. 에틸아민
 디. 에틸 아크릴레이트
 리. 2,3-에폭시-1-프로판올
 미. 1,2-에폭시프로판
 비. 에피클로로히드린(특별관리물질)
 시. 요오드화 메틸
 이. 이소부틸 알코올
 지. 이소아밀 알코올
 치. 이소프로필 알코올
 키. 이염화에틸렌
 티. 이황화탄소
 피. 초산 메틸
 히. n-초산 부틸
 가. 초산 에틸
 냐. 초산 프로필
 다. 초산 이소부틸
 라. 초산 이소아밀
 마. 초산 이소프로필
 박. 크레졸
 샤. 크실렌
 야. 클로로벤젠
 자. 1,1,2,2-테트라클로로에탄
 차. 1,1,2-트리클로로에탄
 카. 1,2,3-트리클로로프로판
 타. 테트라하이드로푸란
 파. 톨루엔
 하. 톨루엔-2,4-디이소시아네이트
 거. 톨루엔-2,6-디이소시아네이트
 녀. 트리에틸아민
 더. 트리클로로메탄
 러. 트리클로로에틸렌(특별관리물질)
 며. 퍼클로로에틸렌
 베틀. 페놀(특별관리물질)
 셔. 삭제 <2013.3.21>

- 여. 포름알데히드(특별관리물질)
- 저. 프로필렌 이민
- 차. 피리딘
- 켜. 하이드라진
- 터. 헥사메틸렌 디이소시아네이트
- 펴. n-헥산
- 혀. 헵탄
- 교. 황산디메틸
- 뇨. 가목부터 교목까지의 물질을 용량비율 1퍼센트[1-브로모프로판(특별관리물질), 2-브로모프로판(특별관리물질) 및 페놀(특별관리물질)은 0.3퍼센트, 그 밖의 특별관리물질은 0.1퍼센트] 이상 함유한 제제

2. 금속류(23종)

- 가. 구리 및 그 화합물
- 나. 납 및 그 무기화합물(특별관리물질)
- 다. 니켈 및 그 화합물(불용성화합물만 특별관리물질)
- 라. 망간 및 그 화합물
- 마. 바륨 및 그 가용성화합물
- 바. 백금 및 그 화합물
- 사. 산화마그네슘
- 아. 셀레늄 및 그 화합물
- 자. 수은 및 그 화합물
- 차. 아연 및 그 화합물
- 카. 안티몬 및 그 화합물(삼산화안티몬만 특별관리물질)
- 타. 알루미늄 및 그 화합물
- 파. 요오드
- 하. 은 및 그 화합물
- 거. 이산화티타늄
- 너. 주석 및 그 화합물
- 더. 지르코늄 및 그 화합물
- 러. 철 및 그 화합물
- 머. 오산화바나듐
- 버. 카드뮴 및 그 화합물(특별관리물질)
- 서. 코발트 및 그 무기화합물
- 어. 크롬 및 그 화합물(6가크롬만 특별관리물질)
- 저. 텅스텐 및 그 화합물
- 쳐. 가목부터 저목까지의 물질을 중량비율 1퍼센트[납 및 그 무기화합물(특별관리물질)은 0.3퍼센트, 그 밖의 특별관리물질은 0.1퍼센트] 이상 함유한 제제

3. 산·알칼리류(17종)

- 가. 개미산
-

- 나. 과산화수소
 - 다. 무수초산
 - 라. 불화수소
 - 마. 브롬화수소
 - 바. 수산화나트륨
 - 사. 수산화칼륨
 - 아. 시안화나트륨
 - 자. 시안화칼륨
 - 차. 시안화칼슘
 - 카. 아크릴산
 - 타. 염화수소
 - 파. 인산
 - 하. 질산
 - 거. 초산
 - 너. 트리클로로아세트산
 - 더. 황산(pH 2.0 이하인 강산은 특별관리물질)
 - 러. 가목부터 더목까지의 물질을 중량비율 1퍼센트(특별관리물질은 0.1퍼센트) 이상 함유한 제제
4. 가스 상태 물질류(15종)
- 가. 불소
 - 나. 브롬
 - 다. 산화에틸렌(특별관리물질)
 - 라. 삼수산화비소
 - 마. 시안화수소
 - 바. 암모니아
 - 사. 염소
 - 아. 오존
 - 자. 이산화질소
 - 차. 이산화황
 - 카. 일산화질소
 - 타. 일산화탄소
 - 파. 포스겐
 - 하. 포스핀
 - 거. 황화수소
 - 너. 가목부터 거목까지의 물질을 용량비율 1퍼센트(특별관리물질은 0.1퍼센트) 이상 함유한 제제

2) 화학물질관리법

화학물질관리법에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과 같다.

- 법 제2조(정의)
- 시행규칙 제45조(위해관리계획서 제출대상)
- 시행규칙 [별표 10] 사고대비물질별 수량 기준

제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "화학물질"이란 원소·화합물 및 그에 인위적인 반응을 일으켜 얻어진 물질과 자연 상태에서 존재하는 물질을 화학적으로 변형시키거나 추출 또는 정제한 것을 말한다.
2. "유독물질"이란 유해성(有害性)이 있는 화학물질로서 대통령령으로 정하는 기준에 따라 환경부장관이 정하여 고시한 것을 말한다.
3. "허가물질"이란 유해성(危害性)이 있다고 우려되는 화학물질로서 환경부장관의 허가를 받아 제조, 수입, 사용하도록 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과의 협의와 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」 제7조에 따른 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시한 것을 말한다.
4. "제한물질"이란 특정 용도로 사용되는 경우 유해성이 크다고 인정되는 화학물질로서 그 용도로의 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반 또는 사용을 금지하기 위하여 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과의 협의와 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」 제7조에 따른 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시한 것을 말한다.
5. "금지물질"이란 유해성이 크다고 인정되는 화학물질로서 모든 용도로의 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반 또는 사용을 금지하기 위하여 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과의 협의와 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」 제7조에 따른 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시한 것을 말한다.
6. "사고대비물질"이란 화학물질 중에서 급성독성(急性毒性)·폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생 가능성이 높거나 화학사고가 발생한 경우에 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로서 화학사고 대비가 필요하다고 인정하여 제39조에 따라 환경부장관이 지정·고시한 화학물질을 말한다.
7. "유해화학물질"이란 유독물질, 허가물질, 제한물질 또는 금지물질, 사고대비물질, 그 밖에 유해성 또는 유해성이 있거나 그러할 우려가 있는 화학물질을 말한다.
8. "유해화학물질 영업"이란 유해화학물질 중 허가물질 및 금지물질을 제외한 나머지 물질에 대한 영업을 말한다.
9. "유해성"이란 화학물질의 독성 등 사람의 건강이나 환경에 좋지 아니한 영향을 미치는 화학물질 고유의 성질을 말한다.
10. "유해성"이란 유해성이 있는 화학물질이 노출되는 경우 사람의 건강이나 환경에 피해를 줄 수 있는 정도를 말한다.
11. "취급시설"이란 화학물질을 제조, 보관·저장, 운반(항공기·선박·철도를 이용한 운반은 제외한다) 또는 사용하는 시설이나 설비를 말한다.
12. "취급"이란 화학물질을 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반 또는 사용하는 것을 말한다.

13. "화학사고"란 시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송 사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 일체의 상황을 말한다.

시행규칙 제45조(위해관리계획서 제출대상) 법 제41조제1항 각 호 외의 부분에 따른 사고 대비물질별 수량 기준은 별표 10과 같다.

사고대비물질별 수량 기준

번호	사고대비물질명	적용범위	CAS 번호	제조·사용 수량(연간)	보관·저장 수량
1	포름알데하이드 (Formaldehyde)	포름알데하이드 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000050-00-0	1,500,000	200,000
2	메틸 하이드라진 (Methyl hydrazine)	메틸 하이드라진 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000060-34-4	300,000	10,000
3	포름산 (Formic acid)	포름산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000064-18-6	1,500,000	20,000
4	메탄올 (Methanol)	메탄올 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물질	000067-56-1	1,500,000	200,000
5	벤젠(Benzene)	벤젠 및 이를 85% 이상 함유한 혼합물질	000071-43-2	1,500,000	10,000
6	염화메틸 (Methyl chloride)	염화메틸 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000074-87-3	300,000	10,000
7	메틸아민 (Methylamine)	메틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000074-89-5	300,000	10,000
8	시아니화수소 (Hydrogen cyanide)	시아니화수소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000074-90-8	300,000	1,500
9	염화비닐 (Vinyl chloride)	염화비닐 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	000075-01-4	1,500,000	200,000
10	이황화탄소 (Carbon disulfide)	이황화탄소 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	000075-15-0	300,000	10,000
11	산화에틸렌 (Ethylene oxide)	산화에틸렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	000075-21-8	1,500,000	10,000
12	포스겐 (Phosgene)	포스겐 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000075-44-5	75,000	750
13	트리메틸아민 (Trimethylamine)	트리메틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000075-50-3	300,000	10,000
14	산화프로필렌 (Propylene oxide)	산화프로필렌 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	000075-56-9	1,500,000	10,000
15	메틸에틸케톤 (Methyl ethyl ketone)	메틸에틸케톤 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000078-93-3	1,500,000	200,000
16	메틸비닐케톤 (Methyl vinyl ketone)	메틸 비닐 케톤 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000078-94-4	1,500,000	200,000
17	아크릴산	아크릴산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000079-10-7	1,500,000	20,000

번호	사고대비물질명	적용범위	CAS 번호	제조·사용 수량(연간)	보관·저장 수량
	(Acrylic acid)	합물질			
18	메틸 아크릴레이트 (Methyl acrylate)	메틸 아크릴레이트 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000096-33-3	1,500,000	200,000
19	니트로벤젠 (Nitrobenzene)	니트로벤젠 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000098-95-3	1,500,000	20,000
20	파라-니트로톨루엔 (p-Nitrotoluene)	파라-니트로톨루엔 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000099-99-0	1,500,000	20,000
21	염화 벤질 (Benzyl chloride)	염화 벤질 및 이를 25% 이상 함유한 혼 합물질	000100-44-7	300,000	10,000
22	아크롤레인 (Acrolein)	아크롤레인 및 이를 1.0% 이상 함유한 혼합물질	000107-02-8	300,000	10,000
23	알릴 클로라이드 (Allyl chloride)	알릴 클로라이드 및 이를 25% 이상 함 유한 혼합물질	000107-05-1	300,000	10,000
24	아크릴로니트릴 (Acrylonitrile)	아크릴로니트릴 및 이를 0.1% 이상 함 유한 혼합물질	000107-13-1	1,500,000	10,000
25	에틸렌디아민 (Ethylenediamine)	에틸렌디아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000107-15-3	300,000	10,000
26	알릴알코올 (Allyl alcohol)	알릴알코올 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000107-18-6	1,500,000	20,000
27	메타크레졸 (m-Cresol)	메타-크레졸 및 이를 5% 이상 함유한 혼합물질	000108-39-4	1,500,000	20,000
28	톨루엔 (Toluene)	톨루엔 및 이를 85% 이상 함유한 혼합 물질	000108-88-3	1,500,000	200,000
29	페놀 (Phenol)	페놀 및 이를 5% 이상 함유한 혼합물질	000108-95-2	1,500,000	20,000
30	노말부틸아민 (n-Butylamine)	노말-부틸아민 및 이를 25% 이상 함유 한 혼합물질	000109-73-9	1,500,000	200,000
31	트리에틸아민 (Triethylamine)	트리에틸아민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000121-44-8	300,000	10,000
32	아세트산에틸 (Ethyl acetate)	아세트산에틸 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000141-78-6	1,500,000	20,000
33	시안화나트륨 (Sodium cyanide)	시안화나트륨 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질. 다만, 베를린청(Ferric ferrocyanide)·황혈염(Potassium ferrocyanide)·적혈염(Potassium ferri-cyanide) 및 그 중 하나를 함유한 혼합물질은 제외한다.	000143-33-9	300,000	10,000
34	에틸렌이민 (Ethylenimine)	에틸렌이민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000151-56-4	1,500,000	20,000
35	톨루엔-2,4-디이소시아네 이트 (Toluene-2,4- diisocyanate (TDI))	톨루엔-2,4-디이소시아네이트 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000584-84-9	1,500,000	20,000

번호	사고대비물질명	적용범위	CAS 번호	제조·사용 수량(연간)	보관·저장 수량
36	일산화탄소 (Carbon monoxide)	일산화탄소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000630-08-0	300,000	10,000
37	아크릴일 클로라이드 (Acrylyl chloride)	아크릴일 클로라이드 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000814-68-6	750,000	20,000
38	인화 아연 (Zinc phosphide)	인화 아연 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	001314-84-7	300,000	10,000
39	메틸에틸케톤 과산화물 (Methyl ethyl ketone peroxide)	메틸에틸케톤 과산화물 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	001338-23-4	750,000	10,000
40	디이소시아산 이소포론 (Isophorone diisocyanate)	디이소시아산 이소포론 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	004098-71-9	300,000	10,000
41	나트륨 (Sodium)	나트륨 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007440-23-5	30,000	1,000
42	염화수소 (Hydrogen chloride)	염화수소 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	007647-01-0	1,500,000	20,000
43	플루오르화수소 (Hydrogen fluoride)	플루오르화수소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	007664-39-3	150,000	1,000
44	암모니아 (Ammonia)	암모니아 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	007664-41-7	1,500,000	20,000
45	황산 (Sulfuric acid)	황산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	007664-93-9	1,500,000	20,000
46	질산 (Nitric acid)	질산 및 이를 10% 이상 함유한 혼합물질	007697-37-2	2,250,000	300,000
47	삼염화인(Phosphorus trichloride)	삼염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007719-12-2	300,000	10,000
48	플루오린 (Fluorine)	플루오린 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007782-41-4	150,000	1,000
49	염소 (Chlorine)	염소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007782-50-5	450,000	10,000
50	황화수소 (Hydrogen sulfide)	황화수소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007783-06-4	150,000	1,000
51	아르신 (Arsine)	아르신 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질	007784-42-1	15,000	500
52	클로로술폰산 (Chlorosulfonic acid)	클로로술폰산 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	007790-94-5	300,000	10,000
53	포스핀 (Phosphine)	포스핀 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	007803-51-2	15,000	500
54	옥시염화인(Phosphorus oxychloride)	옥시염화인 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	010025-87-3	750,000	20,000
55	이산화염소 (Chlorine dioxide)	이산화염소 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	010049-04-4	150,000	20,000

번호	사고대비물질명	적용범위	CAS 번호	제조·사용 수량(연간)	보관·저장 수량
56	디보란 (Diborane)	디보란 및 이를 25% 이상 함유한 혼합 물질	019287-45-7	75,000	750
57	산화질소 (Nitric oxide)	산화질소 및 이를 1% 이상 함유한 혼합 물질	010102-43-9	75,000	750
58	니트로메탄 (Nitromethane)	니트로메탄 및 이를 25% 이상 함유한 혼합물질	000075-52-5	60,000	20,000
59	질산암모늄 (Ammonium nitrate)	질산암모늄 및 이를 33% 이상 함유한 혼합물질	006484-52-2	90,000	30,000
60	헥사민 (Hexamine)	헥사민 및 이를 25% 이상 함유한 혼합 물질	000100-97-0	90,000	30,000
61	과산화수소 (Hydrogen peroxide)	과산화수소 및 이를 35% 이상 함유한 혼합물질	007722-84-1	90,000	30,000
62	염소산칼륨 (Potassium chlorate)	염소산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	003811-04-9	15,000	5,000
63	질산칼륨 (Potassium nitrate)	질산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼 합물질	007757-79-1	90,000	30,000
64	과염소산칼륨 (Potassium perchlorate)	과염소산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	007778-74-7	15,000	5,000
65	과망간산칼륨(Potassium permanganate)	과망간산칼륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	007722-64-7	300,000	100,000
66	염소산나트륨 (Sodium chlorate)	염소산나트륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	007775-09-9	15,000	5,000
67	질산나트륨 (Sodium nitrate)	질산나트륨 및 이를 98% 이상 함유한 혼합물질	007631-99-4	90,000	30,000
68	사린(O-Isopropyl methyl phosphonofluoridate)	사린 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질	000107-44-8	15,000	500
69	염화시아 (Cyanogen chloride)	염화시아 및 이를 1% 이상 함유한 혼합 물질	000506-77-4	75,000	750

비고

1. 벤젠, 염화메틸, 시안화수소, 메틸 아크릴레이트, 알릴 클로라이드, 에틸렌디아민, 노말-부틸아민, 트리에틸아민, 에틸렌이민을 함유하는 혼합물질의 경우에는 대기압(1기압) 아래에서 인화점이 21℃ 이하인 물질을 사고대비물질의 범위에 포함시킨다. 이 경우 인화점의 수치는 태그밀폐식, 세타밀폐식 또는 클리블랜드 개방식 등의 인화점 측정기에 따라 1기압에서 측정한 수치 중 작은 수치를 말한다.
2. "제조·사용수량"이란 사고대비물질을 설비에서 1년간 제조하거나 사용할 수 있는 최대 수량을 말한다.
3. "보관·저장수량"이란 저장소, 저장탱크 등 사고대비물질을 보관·저장하는 시설에서 보관·저장할 수 있는 최대수량을 말한다.

3) 위험물안전관리법

위험물안전관리법에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과 같다.

- 시행규칙 제2조(위험물)
- 시행규칙 [별표 1] 위험물 및 지정수량

시행규칙 제2조(위험물) 「위험물안전관리법」(이하 "법"이라 한다) 제2조제1항제1호에서 "대통령령이 정하는 물품"이라 함은 별표 1에 규정된 위험물을 말한다. <개정 2005.5.26.>

시행규칙 제3조(위험물의 지정수량) 법 제2조제1항제2호에서 "대통령령이 정하는 수량"이라 함은 별표 1의 위험물별로 지정수량란에 규정된 수량을 말한다.

[별표 1] <개정 2014.11.19.>

위험물 및 지정수량(제2조 및 제3조관련)

위험물			지정수량
유별	성질	품명	
제1류	산화성 고체	1. 아염소산염류	50킬로그램
		2. 염소산염류	50킬로그램
		3. 과염소산염류	50킬로그램
		4. 무기과산화물	50킬로그램
		5. 브롬산염류	300킬로그램
		6. 질산염류	300킬로그램
		7. 요오드산염류	300킬로그램
		8. 과망간산염류	1,000킬로그램
		9. 중크롬산염류	1,000킬로그램
		10. 그 밖에 총리령으로 정하는 것	50킬로그램, 300킬로그램 또는 1,000킬로그램
		11. 제1호 내지 제10호의 1에 해당하는 어느 하나 이상을 함유한 것	
제2류	가연성 고체	1. 황화린	100킬로그램
		2. 적린	100킬로그램
		3. 유황	100킬로그램
		4. 철분	500킬로그램
		5. 금속분	500킬로그램

		6. 마그네슘	500킬로그램	
		7. 그 밖에 총리령으로 정하는 것 8. 제1호 내지 제7호의 1에 해당하는 어느 하나 이상을 함유한 것	100킬로그램 또는 500킬로그램	
		9. 인화성고체	1,000킬로그램	
제3류	자연 발화성 물질 및 금속성 물질	1. 칼륨	10킬로그램	
		2. 나트륨	10킬로그램	
		3. 알킬알루미늄	10킬로그램	
		4. 알킬리튬	10킬로그램	
		5. 황린	20킬로그램	
		6. 알칼리금속(칼륨 및 나트륨을 제외한다) 및 알칼리토 금속	50킬로그램	
		7. 유기금속화합물(알킬알루미늄 및 알킬리튬을 제외한다)	50킬로그램	
		8. 금속의 수소화물	300킬로그램	
		9. 금속의 인화물	300킬로그램	
		10. 칼슘 또는 알루미늄의 탄화물	300킬로그램	
		11. 그 밖에 총리령으로 정하는 것 12. 제1호 내지 제11호의 1에 해당하는 어느 하나 이상을 함유한 것	10킬로그램, 20킬로그램, 50킬로그램 또는 300킬로그램	
제4류	인화성 액체	1. 특수인화물	50리터	
		2. 제1석유류	비수용성액체	200리터
			수용성액체	400리터
		3. 알코올류	400리터	
		4. 제2석유류	비수용성액체	1,000리터
			수용성액체	2,000리터
		5. 제3석유류	비수용성액체	2,000리터
수용성액체	4,000리터			
6. 제4석유류	6,000리터			
7. 동식물유류	10,000리터			
제5류	자기반응성물질	1. 유기과산화물	10킬로그램	
		2. 질산에스테르류	10킬로그램	
		3. 니트로화합물	200킬로그램	
		4. 니트로소화합물	200킬로그램	
		5. 아조화합물	200킬로그램	
		6. 디아조화합물	200킬로그램	

		7. 히드라진 유도체	200킬로그램
		8. 히드록실아민	100킬로그램
		9. 히드록실아민염류	100킬로그램
		10. 그 밖에 총리량으로 정하는 것	10킬로그램, 100킬로그램 또는 200킬로그램
		11. 제1호 내지 제10호의 1에 해당하는 어느 하나 이상을 함유한 것	
제6류	산화성 액체	1. 과염소산	300킬로그램
		2. 과산화수소	300킬로그램
		3. 질산	300킬로그램
		4. 그 밖에 총리량으로 정하는 것	300킬로그램
		5. 제1호 내지 제4호의 1에 해당하는 어느 하나 이상을 함유한 것	300킬로그램

비고

- "산화성고체"라 함은 고체[액체(1기압 및 섭씨 20도에서 액상인 것 또는 섭씨 20도 초과 섭씨 40도 이하에서 액상인 것을 말한다. 이하 같다)또는 기체(1기압 및 섭씨 20도에서 기상인 것을 말한다)외의 것을 말한다. 이하 같다]로서 산화력의 잠재적인 위험성 또는 충격에 대한 민감성을 판단하기 위하여 국민안전처장관이 정하여 고시(이하 "고시"라 한다)하는 시험에서 고시로 정하는 성질과 상태를 나타내는 것을 말한다. 이 경우 "액상"이라 함은 수직으로 된 시험관(안지름 30밀리미터, 높이 120밀리미터의 원통형유리관을 말한다)에 시료를 55밀리미터까지 채운 다음 당해 시험관을 수평으로 하였을 때 시료액면의 선단이 30밀리미터를 이동하는데 걸리는 시간이 90초 이내에 있는 것을 말한다.
- "자연성고체"라 함은 고체로서 화염에 의한 발화의 위험성 또는 인화의 위험성을 판단하기 위하여 고시로 정하는 시험에서 고시로 정하는 성질과 상태를 나타내는 것을 말한다.
- 유황은 순도가 60중량퍼센트 이상인 것을 말한다. 이 경우 순도측정에 있어서 불순물은 활석 등 불연성물질과 수분에 한한다.
- "철분"이라 함은 철의 분말로서 53마이크로미터의 표준체를 통과하는 것이 50중량퍼센트 미만인 것은 제외한다.
- "금속분"이라 함은 알칼리금속·알칼리토류금속·철 및 마그네슘외의 금속의 분말을 말하고, 구리분·니켈분 및 150마이크로미터의 체를 통과하는 것이 50중량퍼센트 미만인 것은 제외한다.
- 마그네슘 및 제2류제8호의 물질중 마그네슘을 함유한 것에 있어서는 다음 각목의 1에 해당하는 것은 제외한다.
 - 2밀리미터의 체를 통과하지 아니하는 덩어리 상태의 것
 - 직경 2밀리미터 이상의 막대 모양의 것
- 황화린·적린·유황 및 철분은 제2호의 규정에 의한 성상이 있는 것으로 본다.
- "인화성고체"라 함은 고형알코올 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 40도 미만인 고체를 말한다.
- "자연발화성물질 및 금수성물질"이라 함은 고체 또는 액체로서 공기 중에서 발화의 위험성이 있거나 물과 접촉하여 발화하거나 가연성가스를 발생하는 위험성이 있는 것을 말한다.
- 칼륨·나트륨·알킬알루미늄·알킬리튬 및 황린은 제9호의 규정에 의한 성상이 있는 것으로 본다.
- "인화성액체"라 함은 액체(제3석유류, 제4석유류 및 동식물유류에 있어서는 1기압과 섭씨 20도에서 액상인 것에 한한다)로서 인화의 위험성이 있는 것을 말한다.
- "특수인화물"이라 함은 이황화탄소, 디에틸에테르 그 밖에 1기압에서 발화점이 섭씨 100도 이하인 것 또는 인화점이 섭씨 영하 20도 이하이고 비점이 섭씨 40도 이하인 것을 말한다.

-
13. "제1석유류"라 함은 아세톤, 휘발유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 미만인 것을 말한다.
 14. "알코올류"라 함은 1분자를 구성하는 탄소원자의 수가 1개부터 3개까지인 포화1가 알코올(변성알코올을 포함한다)을 말한다. 다만, 다음 각목의 1에 해당하는 것은 제외한다.
 - 가. 1분자를 구성하는 탄소원자의 수가 1개 내지 3개의 포화1가 알코올의 함유량이 60중량퍼센트 미만인 수용액
 - 나. 가연성액체량이 60중량퍼센트 미만이고 인화점 및 연소점(태그개방식인화점측정기에 의한 연소점을 말한다. 이하 같다)이 에틸알코올 60중량퍼센트 수용액의 인화점 및 연소점을 초과하는 것
 15. "제2석유류"라 함은 등유, 경유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 21도 이상 70도 미만인 것을 말한다. 다만, 도료류 그 밖의 물품에 있어서 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하이면서 인화점이 섭씨 40도 이상인 동시에 연소점이 섭씨 60도 이상인 것은 제외한다.
 16. "제3석유류"라 함은 중유, 클레오스트유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 미만인 것을 말한다. 다만, 도료류 그 밖의 물품은 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하인 것은 제외한다.
 17. "제4석유류"라 함은 기어유, 실린더유 그 밖에 1기압에서 인화점이 섭씨 200도 이상 섭씨 250도 미만의 것을 말한다. 다만 도료류 그 밖의 물품은 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하인 것은 제외한다.
 18. "동식물유류"라 함은 동물의 지육 등 또는 식물의 종자나 과육으로부터 추출한 것으로서 1기압에서 인화점이 섭씨 250도 미만인 것을 말한다. 다만, 법 제20조제1항의 규정에 의하여 총리령으로 정하는 용기기준과 수납·저장기준에 따라 수납되어 저장·보관되고 용기의 외부에 물품의 통칭명, 수량 및 화기엄급(화기엄급과 동일한 의미를 갖는 표시를 포함한다)의 표시가 있는 경우를 제외한다.
 19. "자기반응성물질"이라 함은 고체 또는 액체로서 폭발의 위험성 또는 가열분해의 격렬함을 판단하기 위하여 고시로 정하는 시험에서 고시로 정하는 성질과 상태를 나타내는 것을 말한다.
 20. 제5류제11호의 물품에 있어서는 유기과산화물을 함유하는 것 중에서 불활성고체를 함유하는 것으로서 다음 각목의 1에 해당하는 것은 제외한다.
 - 가. 과산화벤조일의 함유량이 35.5중량퍼센트 미만인 것으로서 전분가루, 황산칼슘2수화물 또는 인산1수소칼슘2수화물과의 혼합물
 - 나. 비스(4클로로벤조일)페옥사이드의 함유량이 30중량퍼센트 미만인 것으로서 불활성고체와의 혼합물
 - 다. 과산화지크밀의 함유량이 40중량퍼센트 미만인 것으로서 불활성고체와의 혼합물
 - 라. 1·4비스(2-터셔리부틸페옥시이소프로필)벤젠의 함유량이 40중량퍼센트 미만인 것으로서 불활성고체와의 혼합물
 - 마. 시크로헥사놀페옥사이드의 함유량이 30중량퍼센트 미만인 것으로서 불활성고체와의 혼합물
 21. "산화성액체"라 함은 액체로서 산화력의 잠재적인 위험성을 판단하기 위하여 고시로 정하는 시험에서 고시로 정하는 성질과 상태를 나타내는 것을 말한다.
 22. 과산화수소는 그 농도가 36중량퍼센트 이상인 것에 한하며, 제21호의 성상이 있는 것으로 본다.
 23. 질산은 그 비중이 1.49 이상인 것에 한하며, 제21호의 성상이 있는 것으로 본다.
 24. 위 표의 성질란에 규정된 성상을 2가지 이상 포함하는 물품(이하 이 호에서 "복수성상물품"이라 한다)이 속하는 품명은 다음 각목의 1에 의한다.
 - 가. 복수성상물품이 산화성고체의 성상 및 가연성고체의 성상을 가지는 경우 : 제2류제8호의 규정에 의한 품명
 - 나. 복수성상물품이 산화성고체의 성상 및 자기반응성물질의 성상을 가지는 경우 : 제5류제11호의 규정에 의한 품명
-

- 다. 복수성상물질이 가연성고체의 성상과 자연발화성물질의 성상 및 금속성물질의 성상을 가지는 경우 : 제3류제12호의 규정에 의한 품명
 - 라. 복수성상물질이 자연발화성물질의 성상, 금속성물질의 성상 및 인화성액체의 성상을 가지는 경우 : 제3류제12호의 규정에 의한 품명
 - 마. 복수성상물질이 인화성액체의 성상 및 자기반응성물질의 성상을 가지는 경우 : 제5류제11호의 규정에 의한 품명
25. 위 표의 지정수량란에 정하는 수량이 복수로 있는 품명에 있어서는 당해 품명이 속하는 유(類)의 품명 가운데 위험성의 정도가 가장 유사한 품명의 지정수량란에 정하는 수량과 같은 수량을 당해 품명의 지정수량으로 한다. 이 경우 위험물의 위험성을 실험·비교하기 위한 기준은 고시로 정할 수 있다.
26. 동 표에 의한 위험물의 판정 또는 지정수량의 결정에 필요한 실험은 「국가표준기본법」에 의한 공인시험기관, 한국소방산업기술원, 중앙소방학교 또는 국민안전처장관이 지정하는 기관에서 실시할 수 있다.

4) 소방기본법

소방기본법에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과 같다.

- 시행령 제6조(화재의 확대가 빠른 특수가연물)
- 시행령 [별표 2] 특수가연물

시행령 제6조(화재의 확대가 빠른 특수가연물) 법 제15조제2항에서 "대통령령으로 정하는 특수가연물(特殊可燃物)"이란 별표 2에 규정된 품명별 수량 이상의 가연물을 말한다.

[별표 2] <개정 2005.10.20>

특수가연물(제6조관련)

품 명	수 량
면화류	200킬로그램 이상
나무껍질 및 대팻밥	400킬로그램 이상
넙마 및 종이부스러기	1,000킬로그램 이상
사류(絲類)	1,000킬로그램 이상
벼짚류	1,000킬로그램 이상
가연성고체류	3,000킬로그램 이상
석탄·목탄류	10,000킬로그램 이상
가연성액체류	2세제곱미터 이상

품 명		수 량
목재가공품 및 나무부스러기		10세제곱미터 이상
합 성 수 지 류	발포시킨 것	20세제곱미터 이상
	그 밖의 것	3,000킬로그램 이상

비 고

1. “면화류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 면상 또는 팽이모양의 섬유와 마사(麻絲) 원료를 말한다.
2. 냅마 및 종이부스러기는 불연성 또는 난연성이 아닌 것(동식물유가 깊이 스며들어 있는 옷감·종이 및 이들의 제품을 포함한다)에 한한다.
3. “사류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 실(실부스러기와 솜털을 포함한다)과 누에 고치를 말한다.
4. “벼짚류”라 함은 마른 벼짚·마른 볏더기와 이들의 제품 및 건조를 말한다.
5. “가연성고체류”라 함은 고체로서 다음 각목의 것을 말한다.
 - 가. 인화점이 섭씨 40도 이상 100도 미만인 것
 - 나. 인화점이 섭씨 100도 이상 200도 미만이고, 연소열량이 1그램당 8킬로칼로리 이상인 것
 - 다. 인화점이 섭씨 200도 이상이고 연소열량이 1그램당 8킬로칼로리 이상인 것으로서 용점이 100도 미만인 것
 - 라. 1기압과 섭씨 20도 초과 40도 이하에서 액상인 것으로서 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 미만이거나 나뭇잎 또는 다목에 해당하는 것
6. 석탄·목탄류에는 코크스, 석탄가루를 물에 갠 것, 조개탄, 연탄, 석유코크스, 활성탄 및 이와 유사한 것을 포함한다.
7. “가연성액체류”라 함은 다음 각목의 것을 말한다.
 - 가. 1기압과 섭씨 20도 이하에서 액상인 것으로서 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하 이면서 인화점이 섭씨 40도 이상 섭씨 70도 미만이고 연소점이 섭씨 60도 이상인 물품
 - 나. 1기압과 섭씨 20도에서 액상인 것으로서 가연성 액체량이 40중량퍼센트 이하이고 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 250도 미만인 물품
 - 다. 동물의 기름기와 살코기 또는 식물의 씨나 과일의 살로부터 추출한 것으로서 다음의 1에 해당하는 것
 - (1) 1기압과 섭씨 20도에서 액상이고 인화점이 250도 미만인 것으로서 「위험물안전관리법」 제20조제1항의 규정에 의한 용기기준과 수납·저장기준에 적합하고 용기외부에 물품명·수량 및 “화기엄금” 등의 표시를 한 것
 - (2) 1기압과 섭씨 20도에서 액상이고 인화점이 섭씨 250도 이상인 것
8. “합성수지류”라 함은 불연성 또는 난연성이 아닌 고체의 합성수지제품, 합성수지반제품, 원료합성수지 및 합성수지 부스러기(불연성 또는 난연성이 아닌 고무제품, 고무반제품, 원료고무 및 고무 부스러기를 포함한다)를 말한다. 다만, 합성수지의 섬유·옷감·종이 및 실과 이들의 냅마와 부스러기를 제외한다.

5) 고압가스안전관리법

고압가스안전관리법에서 화학물질 분류체계와 관련된 규정 내용은 다음과

같다.

- 법 제2조(고압가스의 종류 및 범위)
- 시행령 제16조, 시행규칙 제2조
- 시행령 [별표 1] 적용범위에서 제외되는 고압가스

시행령 제2조(고압가스의 종류 및 범위) 「고압가스 안전관리법」(이하 "법"이라 한다) 제2조에 따라 법의 적용을 받는 고압가스의 종류 및 범위는 다음 각 호와 같다. 다만, 별표 1에 정하는 고압가스는 제외한다.

1. 상용(常用)의 온도에서 압력(게이지압력을 말한다. 이하 같다)이 1메가파스칼 이상이 되는 압축가스로서 실제로 그 압력이 1메가파스칼 이상이 되는 것 또는 섭씨 35도의 온도에서 압력이 1메가파스칼 이상이 되는 압축가스(아세틸렌가스는 제외한다)
2. 섭씨 15도의 온도에서 압력이 0파스칼을 초과하는 아세틸렌가스
3. 상용의 온도에서 압력이 0.2메가파스칼 이상이 되는 액화가스로서 실제로 그 압력이 0.2메가파스칼 이상이 되는 것 또는 압력이 0.2메가파스칼이 되는 경우의 온도가 섭씨 35도 이하인 액화가스
4. 섭씨 35도의 온도에서 압력이 0파스칼을 초과하는 액화가스 중 액화시안화수소·액화브롬화메탄 및 액화산화에틸렌가스

<표> 고압가스의 종류(시행규칙 제2조, 시행령 제16조)

가스 종류	종 류
가연성 가스	아크릴로니트릴,아크릴알데히드,아세트알데히드,아세틸렌,암모니아,수소,황화수소,시안화수소,일산화탄소,이황화탄소,메탄,염화메탄,브롬화메탄,에탄,염화에탄,염화비닐,에틸렌,산화에틸렌,프로판,시클로프로판,프로필렌,산화프로필렌,부탄,부타디엔,부틸렌,메틸에테르,모노메틸아민,디메틸아민,트리메틸아민,에틸아민,벤젠,에틸벤젠 및 그 밖에 공기 중에서 연소하는 가스로 폭발한계(공기와 혼합된 경우 연소를 일으킬 수 있는 공기 중의 가스농도의 한계)의 하한이 10%이하인 것과 폭발한계의 상한과 하한의 차이가 20% 이상인 것을 말함
독성가스	아크릴로니트릴, 아크릴알데히드, 아황산가스, 암모니아, 일산화탄소, 이황화탄소, 불소, 염소, 브롬화메탄, 염화메탄, 염화프렌, 산화에틸렌, 시안화수소, 황화수소, 모노메틸아민, 디메틸아민, 트리메틸아민, 벤젠, 포스겐, 요오드화수소, 브롬화수소, 염화수소, 불화수소, 겨자가스, 알진, 모노실란, 디실란, 디보레인, 세렌화수소, 포스핀, 모노게르만 및 그 밖에 공기 중에 일정량 이상 존재하는 경우 인체에 유해한 독성을 가진 가스로서 허용농도(해당 가스를 성숙한 흰쥐 집단에게 대기 중에서 1시간 동안 계속하여 노출시킨 경우 14일 이내에 그 흰쥐의 2분의 1 이상이 죽게 되는 가스의 농도를 말한다. 이하 같다)가 100만분의 5000 이하인 것을 말함

가스 종류	종 류
액화가스	가압(加壓)·냉각 등의 방법에 의하여 액체상태로 되어 있는 것으로서 대기압에서의 끓는점이 섭씨 40도 이하 또는 상용 온도 이하인 것을 말함
압축가스	일정한 압력에 의하여 압축되어 있는 가스를 말함
특정고압 가스	포스핀, 셀렌화수소, 게르만, 디실란, 오불화비소, 오불화인, 삼불화인, 삼불화 질소, 삼불화붕소, 사불화유황, 사불화규소, 액화암모니아, 액화염소, 압축모노실란, 압축디보레인, 액화알진, , 수소, 산소, 아세틸렌, 천연가스
특수고압 가스	압축모노실란·압축디보레인·액화알진·포스핀·셀렌화수소·게르만·디실란 및 그 밖에 반도체의 세정 등 산업통상자원부장관이 인정하는 특수한 용도에 사용되는 고압가스를 말함

시행령 [별표 1] <개정 2013.3.23.>

적용범위에서 제외되는 고압가스(제2조 관련)

1. 「에너지이용 합리화법」의 적용을 받는 보일러 안과 그 도관 안의 고압증기
2. 철도차량의 에어컨디셔너 안의 고압가스
3. 「선박안전법」의 적용을 받는 선박 안의 고압가스
4. 「광산보안법」의 적용을 받는 광산에 소재하는 광업을 위한 설비 안의 고압가스
5. 「항공법」의 적용을 받는 항공기 안의 고압가스
6. 「전기사업법」에 따른 전기설비 중 발전·변전 또는 송전을 위하여 설치하는 전기설비 또는 전기를 사용하기 위하여 설치하는 변압기·리액틀·개폐기·자동차단기로서 가스를 압축 또는 액화 그 밖의 방법으로 처리하는 그 전기설비 안의 고압가스
7. 「원자력법」의 적용을 받는 원자로 및 그 부속설비 안의 고압가스
8. 내연기관의 시동, 타이어의 공기충전, 리벳팅, 착암 또는 토목공사에 사용되는 압축장치 안의 고압가스
9. 오토크레이브 안의 고압가스(수소·아세틸렌 및 염화비닐은 제외한다)
10. 액화브롬화메탄제조설비 외에 있는 액화브롬화메탄
11. 등화용의 아세틸렌가스
12. 청량음료수·과실주 또는 발포성주류에 혼합된 고압가스
13. 냉동능력이 3톤 미만인 냉동설비 안의 고압가스
14. 「소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률」의 적용을 받는 내용적 1리터 이하의 소화기용 용기 또는 소화기에 내장되는 용기 안에 있는 고압가스
15. 정부·지방자치단체·자동차제작자 또는 시험연구기관이 시험·연구목적으로 제작하는 고압가스연료용차량 안의 고압가스
16. 「총포·도검·화약류 등 단속법」의 적용을 받는 총포에 충전하는 고압공기 또는 고압가스
17. 국가기관에서 특수한 목적으로 사용하는 휴대용 최루액 분사기에 최루액 추진제로 충전되는 고압가스
18. 섭씨 35도의 온도에서 게이지압력이 4.9메가파스칼 이하인 유니트형 공기압축장치(압축

- 기, 공기탱크, 배관, 유수분리기 등의 설비가 동일한 프레임 위에 일체로 조립된 것. 다만, 공기액화분리장치는 제외한다) 안의 압축공기
19. 한국가스안전공사 또는 한국표준과학연구원에서 표준가스를 충전하기 위한 정밀충전 설비 안의 고압가스
- 19의2. 「방위사업법」에 따른 품질보증을 받은 것으로서 무기체계에 사용되는 용기등 안의 고압가스
20. 그 밖에 산업통상자원부장관이 위해발생의 우려가 없다고 인정하는 고압가스

2. 국외 화학물질 분류체계 등

1) 화학물질의 분류·표지에 관한 국제표준화(GHS)

GHS란 Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals의 약자로, 통일된 분류기준에 따라 화학물질의 유해위험성을 분류하고, 통일된 형태의 표지 및 MSDS 정보를 전달하는 체계이다. GHS에는 물리적 위험성, 건강 및 환경 유해성의 3가지 범위에 대해 각 범주별 세부기준이 정해져 있다.

물리적 위험성은 인화성 물질(인화성 액체, 인화성 고체, 인화성 기체), 자연발화성 물질(자연발화성 액체, 자연발화성 고체), 자기가열성 물질, 물과 반응시 인화성 가스를 방출하는 물질, 산화성 물질(산화성 액체, 산화성 고체, 산화성 기체), 유기과산화물, 자기반응성 물질, 폭발성물질, 금속부식성 물질, 압축가스의 총 16개 항목으로 분류되어 있으며, <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> GHS 분류표

연번	구분	정의	유해위험성 구분
1	화약류·폭발성 물질	자체의 화학반응에 의하여 주위환경에 손상을 줄 수 있는 온도, 압력 및 속도를 가진 가스를 발생시키는 고체 또는 액체 물질(혼합물)	불안정분류, 분류 1.1-1.6

연번	구분	정의	유해위험성 구분
2	인화성 가스	20 °C, 표준압력 101.3 kPa에서 공기와 인화범위에 있는 가스	구분1-2
3	인화성 에어로졸	에어로졸 분무기는 금속, 유리 또는 플라스틱재의 재충전을 할 수 없는 용기에 액체, 페이스트 또는 분말에 관계없이 압축, 액화, 또는 가압 용해된 가스를 충전하고 가스에 현탁시킨 고체 또는 액체 입자로서 또는 포, 페이스트상, 분말상으로 또는 액상 혹은 가스 상으로 분사하는 방출장치를 갖춘 것	구분1-2
4	산화성 가스	산소를 발생시켜 다른 물질의 연소를 공기보다 더 잘 되도록 하거나 기여하는 물질	구분1
5	고압가스	20 °C, 280 kPa이상의 압력 하에서 또는 냉동액화가스로서 용기에 충전되어 있는 가스	가스 4종류
6	인화성 액체	93 °C 이하의 인화점을 가지는 액체	구분1-4
7	인화성 고체	쉽게 연소하거나 마찰에 의해 화재를 일으키거나 기여할 수 있는 물질	구분1-2
8	자기 반응성 물질	열적으로 불안정하여 산소(공기)의 공급이 없어도 강렬하게 발열 분해하기 쉬운 액체 혹은 고체 물질 또는 혼합물	형식A-G
9	자연 발화성 액체	적은 양으로도 공기와 접촉하여 5분 안에 발화할 수 있는 액체	구분1
10	발화성 고체	소량으로도 공기와 접촉하여 5분 안에 발화할 수 있는 고체	구분1
11	자기 발열성 물질	자기발화성 물질이 아니면서 주위에서 에너지 공급 없이 공기와 반응하여 스스로 발열되는 물질(많은 양과 오랜 시간)	구분1-2
12	물반응성 물질	인화성 가스를 방출하는 물질 또는 혼합물은 물과의 상호작용에 의해 자연발화성이 되거나 인화성 가스를 위험한 수준의 양으로 발생하는 고체 혹은 액체 물질 또는 혼합물	구분1-3
13	산화성	그 자체는 반드시 가연성을 가지지 않지만 일반	구분1-3

연번	구분	정의	유해위험성 구분
	액체	적으로 산소 발생에 의해 다른 물질을 연소시키거나 연소에 기여할 우려가 있는 액체	
14	산화성 고체	그 자체는 반드시 가연성을 가지지 않지만 일반적으로 산소 발생에 의해 다른 물질을 연소시키거나 기여하는 고체 물질	구분1-3
15	유기 과산화물	2개의 -O-O- 구조를 가지고 1개 혹은 2개의 수소 원자가 유기라디칼에 의해 치환된 과산화수소의 유도체	형식A-G
16	금속 부식성 물질	화학적인 작용으로 금속에 손상 또는 파괴시키는 물질	구분1

(1) 화학구조에 의한 평가

액체 및 고체물질에 대해서는 분자 내에 특정 작용기가 포함되어 있는 경우에 대응한 평가를 한다. 즉, 촉발성에 관련된 작용기를 포함하고 있는 경우 “화약류” 및 “자기반응성 화학물질”의 평가를 하고, 이들을 포함하지 않고, 자기반응성에 관련된 원자단을 포함하고 있는 경우에는 “자기반응성 화학물질”의 평가부터 시작할 수 있다. 그리고 분자 내에 금속 내지 반금속을 포함하고 있는 경우에는 “수(水)반응 가연성 화학물질” 평가를 한다. 또한 산소, 염소 또는 불소를 포함하는 경우는 “산화성 액체”와 “산화성 고체”의 평가를 하지만, 이들 원소가 탄소 또는 수소하고만 결합하고 있는 경우에는 평가할 필요 없다. 분자 내에 [-O-O-] 구조를 갖고 있는 유기화합물 또는 그것을 포함하는 혼합물에 대해서는 “유기과산화물”의 평가가 필요하다.

(2) 폭발성

GHS 지침서에 서술되어 있는 “폭발성에 관련된 작용기”는 <표 2-2>와 같다.

〈표 2-2〉 폭발성과 관련된 원자단(작용기)

구조특성	예 시
불포화의 C-C결합	아세틸렌 류, 아세틸라이드류, 1,2-다이엔류
C금속, N금속	그리나드시약, 유기리튬화합물
인접한 질소원자	아지드류, 지방족아조화합물, 다이아조늄염류, 하이드라진류, 설폰닐하이드라지드류
인접한 산소원자	퍼옥사이드류, 오조니드류
N-O	하이드록실아민류, 니트로화합물, N-옥사이드류, 1,2-옥사졸류
N-할로젠	클로로아민류, 폴로오르아민류
O-할로젠	염소산염류, 과염소산염류, 요오드실화합물

(UNRTDG : Manual of Tests and Criteria. Appendix 6, Table A6.1)

이들 원자단을 포함하지 않는 물질은 폭발성에 대하여 평가 할 필요 없다. 또는 “산소를 포함하는 폭발성에 관련하는 원자단을 포함하는 물질”로 산소지수 계산치가-200보다 낮은 경우도 폭발성은 없는 것으로 여겨진다.

유기물질(또는 그 균일한 혼합물)에 폭발성과 관련된 원자단이 포함되었지만, 발열분해 에너지가 500 J/g 미만이고, 분해개시온도가 500 °C보다 낮은 경우도 폭발성은 없다고 할 수 있다.

폭발성, 자기반응성, 물반응성, 산화성, 유기과산화물 등은 구조를 보고 여부를 우선 판단하고, 해당 구조가 없을 시에는 “해당 없음”으로 기재하고, 근거에는 해당 구조를 포함하지 않는 것을 명시한다. 이를 반영한 화학구조에 의한 평가 내용은 아래 <표 2-3>과 같고, 수송이 금지되어 있는 폭발성 물질 및 물품의 등급은 <표 2-4>와 같다.

〈표 2-3〉 화학구조에 의한 평가

항 목	기체	액체	고체	해당할 가능성이 있는 화학구조
화약류	X	O	O	분자 내에 폭발성에 관련된 원자단 포함
가연성/인화성 가스	O	X	X	
가연성/인화성 aerosol	O	O	O	
자연성/산화성 가스	△	X	X	
고압가스	O	X	X	
인화성 액체	X	O	X	
인화성 고체	X	X	O	분말상태, 알갱이 상태 또는 페이스트 상태인 물질이 평가 대상
자기반응성 화학품	X	O	O	분자 내에 폭발성 또는 자기 반응성에 관련된 원자단 포함
자기 발화성 액체	X	O	X	
자기 발화성 고체	X	X	O	
자기 발열성 화학품	X	△	O	
수(水)반응 가능성 화학품	X	O	O	금속 또는 반금속(Si, Ge, As, Sb, Bi 등)을 포함하고 있다.
산화성 액체	X	O	X	산소, 불소 또는 염소를 포함하면서도 이들 원소에 탄소, 수소가외의 원소와 화학결합하고 있는 것
산화성 고체	X	X	O	-O-O- 구조를 갖고 있는 유기화합물이다. 단, 활성 산소율(%)이 2.15.2.1(a)(b)에 해당하는 것을 제외한다.
유기과산화물	X	O	O	
금속부식성 물질	△	O	△	

O : 해당할 가능성이 있다

X : 해당하지 않는다

△ : 해당할 가능성이 있지만 시험법이 규정되어 있지 않다

〈표 2-4〉 수송이 금지되어 있는 폭발성 물질 및 물품 등급

등급 1.1 = UNRTDG 1.1
등급 1.2 = UNRTDG 1.2
등급 1.3 = UNRTDG 1.3
등급 1.4 = UNRTDG 1.4
등급 1.5 = UNRTDG 1.5
등급 1.6 = UNRTDG 1.6

(3) 가연성/인화성 가스

인화성 가스에 대해서는 (i)공기와의 혼합물에 13%이하로 폭발범위 (연소범위)가 있는 경우 및 (ii) 폭발(연소) 하한치에 관계없이 공기 중에서의 폭발범위 (연소범위)가 12% 이상의 폭이 있는 경우에 구분1로 한다. 그 외의 가스로 20℃, 1기압에서 공기 중의 폭발범위(연소범위)를 갖는 가스를 구분 2로 한다.

- 구분1 = UNRTDG 2.1 및 2.3 (2.1)
- 구분2 = 위에 포함되지 않은 가연성 가스

UNRTDG로 말하는 “분류2, 가스류”는 고압가스의 정의에 해당하는 상태(압축에서 액화까지)의 것만을 대상으로 하고 있다. GHS의 “가연성/인화성 가스”에서는 고압가스의 조건이 제외되고 상압가스도 대상이 된다.

(4) 가연성/인화성 에어로졸

인화성 액체, 가연성/인화성 가스 또는 가연성 고체의 GHS 판정기준에 따라 가연성/인화성으로 분류된 구성성분을 포함하는 에어로졸은 “인화성 에어로졸”로 분류된다.

UN RTDG 3.2.1 Dangerous Goods List의 국제연합번호1950(에어로졸)에 대한 Special provision 63에 기재되어 있는 판정방법이 선택되었다.

(5) 산화성 가스

각 산화성 가스의 산소 등가계수(Ci)와 체적비율(vol%)의 곱의 합이 21을 넘는 것을 말한다. 산소 등가계수 Ci 아질산화질소 : 0.6(35%이상이면 산화성 가스) 질소 : 1 (21%이상이면 산화성 가스) 기타 모든 산화성 가스 : 40 (0.525% 이상이면 산화성 가스)

UN RTDG의 산화성 물질(구분 5.1)의 정의 (UNRTDG2.5.2)는 액체 및 고체에 한정되어 있다. 기체의 산화성 판정기준은 없지만 부차적 위험성으로서 가스류에 5.1을 부가한 물질이 있다. 그리고 NAERG 122, EmS에서는 S-W로 분류되어 있다. 이들을 근거로 산화성 가스를 선택할 수 있다.

(6) 고압가스

가스의 정의는 “50 ℃에서 증기압 300 kPa(절대압) 이상 또는 20 ℃ 보통 압력(101.3 kPa)의 조건에서 완전히 기체인 것”으로 일치하고 있으나, UN RTDG에서는 고압가스의 정의는 없고, GHS에 있어서 새로이 “20 ℃에서 증기압이 절대압(280 kPa) 이상” 으로 정의되었다.

고용노동부고시에 따라 액화가스 = 고압액화가스 + 저압액화가스 모두 포함하며 국제연합 GHS문서에 기재된 가스 분류기준은 아래 <표 2-5>와 같이 요약된다.

<표 2-5> 가스 분류기준

종류	기준	비고
압축가스	50 ℃에서 완전 가스상태의 가스 (임계온도 -50 ℃이하 모든 가스)	
액화가스	50 ℃에서 완전 가스상태의 가스 (임계온도 -50 ℃이하 모든 가스)	
고압액화가스	임계온도가 50 ℃와 + 65 ℃ 사이에 있는 가스	

종류	기준	비고
저압액화가스	임계온도가 65 °C를 넘는 가스	
냉동액화가스	낮은 습도에서 부분적으로 액화시킨 가스	
용해가스	액상용매에 가압하여 용해시킨 가스	

(7) 인화성 액체

인화성 액체의 분류기준은 <표 2-6>과 같다.

<표 2-6> 인화성 액체 분류기준

구분	고용노동부 GHS 지침서	UN GHS 지침서
구분1	인화점 < 23 °C이고, 초기끓는 점<=35 °C	인화점 < 23 °C이고, 초기끓는 점<=35 °C
구분2	인화점 < 23 °C이고, 초기끓는 점>35 °C	인화점 < 23 °C이고, 초기끓는 점>35 °C
구분3	23 °C <= 인화점 <= 60 °C	23 °C <= 인화점 <= 60 °C
구분4		60 °C < 인화점 <= 93 °C

(8) 자기반응성에 관련된 원자단

GHS 지침서에 서술되어 있는 “자기반응성과 관련된 작용기”는 <표 2-7>과 같다.

<표 2-7> 자기 반응성에 관련된 원자단

구조특성	예 시
상호반응성 그룹	아미노니트릴류, 할로아닐린류, 산화성산의 유기염류

구조특성	예 시
S=O	할로겐화술폰일류, 설폰닐시안화물, 술폰닐히드라지드류
P-O	아인산염류
굴곡이 있는 원형	에폭시드류, 아지리딘류
불포화결합	올레핀류, 시안산염

(UNRTDG : Manual of Tests and Criteria, Appendix 6, Table A6.2)

(9) 자연발화성 고체

자연발화성 고체라 함은 고체가 공기와 접촉하면 5분 이내에 발화하는 것을 말한다.

시험법은 UNRTDG Manual of Tests and Criteria III 33.3.1.4에 기재된 방법 N.2에 의한다.

(10) 자기발열성 물질 및 혼합물

자연발화성 액체 또는 자연발화성 고체 이외의 액체 또는 고체물질을 포함하여 혼합물이면서 공기와의 접촉에 의해서 에너지 공급이 없어도 자기발열하기 쉬운 것을 말한다.

기존 분류 시스템과의 비교하면, UNRTDG에 기재된 구분 4.2 중 자기발열성 물질의 정의가 GHS의 판정기준과 일치하고 있다. 그리고 용기등급 II가 GHS 구분1, III이 구분2에 해당한다. 구분4.2는 그 밖에 자연발화성 고체 및 자연발화성 액체를 포함하고 있다. EmS에서는 S-J(습성 폭약 및 자기발열성 물질)에 포함되지만, 전자에 대해서는 UNRTDG 구분 4.1에 속해 있다.

(11) 수(水)반응 가연성 물질 및 혼합물

물과의 상호작용에 의해서 자연발화성이 되거나, 또는 인화성/가연성 가스를 위험한 양 만큼 발생시키는 고체 또는 액체의 물질 또는 혼합물을 말한다.

- 구분1 : 대기온도에서 물과 활발하게 반응하여 발생가스가 자연발화 할 경우 전반적으로 인정되는 물질 또는 혼합물 또는 인화성/가연성 가스의 발생 속도가 10 L/분/kg 이상인 물질 또는 혼합물을 말한다.
- 구분2 : 대기온도에서 물과 급속하게 반응하여 인화성/가연성 가스의 최대 발생속도가 20 L/시/kg이상이면서 구분 1에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물
- 구분3 : 대기온도에서 물과 서서히 반응하고 인화성/가연성 가스의 최대 발생 속도가 1 L/시/kg이상이면서도 구분1, 구분2에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물

(12) 산화성 액체

시험은 UNRTDG Manual of Tests and Criteria 34.4.2에 기재된 O.2의 방법으로 한다.

- 구분1 : 물질 또는 혼합물과 셀룰로우스의 중량비 1:1 혼합물의 평균 승압시간이 50% 과염소산과 셀룰로우스의 중량비 1:1 혼합물의 평균승압시간 미만의 물질 또는 혼합물
- 구분2 : 물질 또는 혼합물과 셀룰로우스와의 중량비 1:1 혼합물로 시험하나 경우의 평균 승압시간이 초산 65%수용액과 셀룰로우스의 중량비 1:1의 혼합물의 평균승압시간 이하이면서 <구분1> 및 <구분2> 판정기준에 적합하지 않는 물질 또는 혼합물

(13) 산화성 고체

시험은 UNRTDG Manual of Tests and Criteria 34.4.1에 기재된 O.1의 방법으로 한다.

- 구분1 : 물질 또는 혼합물과 셀룰로우스의 중량비 4:1 또는 중량비 1:1

혼합물의 평균 연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로우스의 중량비 3:2 혼합물의 평균 연소시간미만의 물질 또는 혼합물

- 구분2 : 물질 또는 혼합물과 셀룰로우스와의 중량비 4:1 또는 1:1 혼합물로 시험한 경우 그 평균연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로우스의 중량비 2:3 혼합물의 평균 연소 시간 이하이면서도 구분 1의 판정기준에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물
- 구분3 : 물질 또는 혼합물을 셀룰로우스와의 중량비 4:1 또는 1:1 혼합물을 시험한 경우의 평균연소시간이 브롬산칼륨과 셀룰로우스의 중량비 3:7의 혼합물의 평균연소시간 이하이면서 구분1 및 구분2 판정기준에 해당하지 않는 물질 또는 혼합물

(14) 유기과산화물

2가의 -O-O- 구조를 갖는 유기화합물이라도 (i)과산화수소의 함유량이 1.0% 이하의 경우, 유기과산화물에 근거한 활성산소량이 1.0 % 이하의 것, (ii)과산화수소의 함유량이 1.0%~7.0%인 경우, 유기과산화물에 근거하는 활성산소량이 0.5%이하인 것은 유기과산화물의 판정기준 밖이 된다. 즉 분자량 242.24의 벤조일과옥사이드의 경우, 함유량이 15.2%를 넘으면 과산화수소의 함유량에 관계없이 2.15.2의 제외규정에 해당하지 않고, 구분을 위한 시험이 필요해진다. 분자량 76.06의 과아세트산의 경우는 4.8%로 활성산소함유율이 1%를 넘는다. 다른 유기과산화물도 마찬가지로 계산할 수 있다.

(15) 금속부식성 물질

GHS의 판정기준은 55 °C의 시험온도에서 강철 또는 알루미늄의 표면 침식도가 6.25 mm/년을 넘는 것을 말한다.

2) NFPA 704

미국 국립소방방재청(National Fire Protection Association, NFPA)에서는 응급대응 시 물질의 위험성을 규정하기 위한 표준 시스템으로, 코드 「NFPA 704 : Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response」를 만들었으며, 건강, 화재, 반응 그리고 기타(물반응성, 방사선) 위험성에 대하여 등급을 통상 화재 다이아몬드(fire diamond)로 불리는 표식(symbol)에 표기하고 있다.

일반적으로 물질안전보건자료에서 「2. 유해·위험성」의 「다. 유해성·위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해성·위험성」에 기타 위험성을 제외한 3가지 위험성에 대한 등급(5 등급)을 표시하고 있으며, 통상 NFPA 지수라고 칭한다. 건강, 화재, 반응의 3가지 위험성 중 물리적 위험성을 평가하는 지수는 화재지수와 안정성지수가 이에 속한다.

(1) 화재지수(Flammability Hazards)

화재지수는 물질의 화재에 대한 민감성을 나타내는 지수로, 물질이 특정 조건에서 연소가 발생할 수도 있고, 아닐 수도 있기 때문에 물질 자체의 본질적인 특성, 형태 및 조건을 고려하며, 등급 및 결정기준은 <표 2-8>과 같다.

〈표 2-8〉 화재지수 등급 결정기준

등급	결정기준
4	1. 대기압 상온에서 빨리/완전히 증발하거나, 공기 중으로 쉽게 확산하여 쉽게 타는 물질 2. 인화성 가스, 인화성 극저온(cryogenic) 물질 3. 인화점이 22.8 ℃이하이거나 끓는점이 37.8 ℃ 이하인 액체 혹은 가압하의 가스 물질 4. 공기와 접촉 시 순간적으로 발화하는 물질
3	1. 상온에서 인화될 수 있는 액체 및 고체, 상온에서 공기와 위험한 혼합물을 형성해서 쉽게 인화될 수 있는 물질

등급	결정기준
	2. 인화점이 22.8 °C이하면서 끓는점이 37.8 °C이상인 액체 3. 인화점이 22.8 °C이상이면서 끓는점이 37.8 °C 이하인 액체 4. 물리적 형태 및 환경조건에 따라서 공기와 폭발성 혼합물을 형성하고, 쉽게 공기 중으로 확산되는 물질 5. 내재되어 있는 산소에 의해서 격렬하게 빨리 연소하는 물질
2	1. 가열되거나 비교적 높은 주변온도에서 인화할 수 있는 물질, 일반적인 조건에서는 공기와 위험한 분위기를 형성하지 않으나, 높은 주변온도 및 가열에 의해서 공기와 위험한 분위기를 형성할 수 있는 충분한 증기를 발생시키는 물질 2. 인화점이 37.8 °C 이상이고 93.4 °C 이하인 액체 3. 공기와 폭발성 분위기를 형성하지 않으나 빠르게 연소하는 거친 입자(coarse dust)의 고체물질 4. 섬유상 혹은 찢어진 형태로 빨리 연소하고 섬광성 화재를 발생하는 고체물질(면화, 마, 삼) 5. 인화성 증기를 발생시키는 고체 및 준고체 물질
1	1. 착화되기 전에 가열되어야 하는 물질, 착화/연소되기 전 충분한 사전가열이 필요함 2. 815.5 °C에 노출되었을 때 5분 혹은 그 안에 연소하는 물질 3. 인화점이 93.4 °C이상인 액체, 고체, 준고체 물질 4. 인화점이 35 °C이상인 액체로 연소테스트에서 지속적인 연소를 보이지 않는 액체 5. 인화점이 35 °C이상인 액체가 중량비로 85 % 이상 물에 용융(miscible)되어 있거나, 혹은 섞여있거나 분산되어 있는 물질 6. 끓는점 이상이거나, 상변화를 일으키는 온도 이상에서 COC 인화점 테스트에서 연소점(fire point)을 보이지 않는 물질 7. 일반적으로 연소 가능한 물질
0	1. 연소되지 않는 물질이거나 815.5 °C에서 5분 동안 공기 중에 노출되었을 때 연소하지 않는 물질

(2) 안정성(반응)지수(Instability Hazards)

NFPA 704에서 규정하는 안정성 지수 혹은 반응성 지수는 에너지 방출과 관련된 민감도의 결정과 관련된 것으로, 특정 물질들은 자가반응(self-reaction)이나, 중합(polymerization)반응에 스스로 빠른 에너지 방출을 발생할 수 있으며, 화재 시 사용되는 소화물질(물 혹은 기타물질)과 반응에 의해서 에너지를 방출할 수 있다. 물 안정성 및 열적 안정성에 대한 판정기준은 별도로 규정하고 있다.

이 규격에서 불안정한 물질(unstable materials)이란 순수하거나, 상업적으로 생산되는 물질로 온도, 압력, 충격에 의해서 격렬하게 중합, 분해, 응축, 자기반응 혹은 격렬한 화학적 변화를 보이는 물질을 말한다. 그리고 안정한 물질(stable materials)이란 화재 시에 공기, 열, 물에 노출되어도 화학적 조성이 변화되지 않는 물질을 지칭한다. 등급은 현상발생의 용이성(ease), 반응속도(rate) 및 방출되는 에너지양(amount of released energy)에 따라서 <표 2-9>와 같이 분류된다.

<표 2-9> 불안정성지수 등급 결정기준

등급	결정기준
4	<ol style="list-style-type: none"> 1. 통상의 온도 압력에서 폭발적으로 분해 혹은 반응하거나, 쉽게 폭굉할 수 있는 물질 2. 통상의 온도 압력에서 국부적으로 가열 및 기계적 충격에 민감한 물질 3. 250 °C에서 IPD6)가 1000 W/mL을 초과하는 물질
3	<ol style="list-style-type: none"> 1. 밀폐된 공간에서 가열하거나 강한 착화원에 의해서 폭발적으로 분해 혹은 반응하거나, 폭굉할 수 있는 물질 2. 250 °C에서 IPD가 100 W/mL이상이고 1000 W/mL이하인 물질 3. 상승된 온도압력에서 열, 기계적 충격에 민감한 물질 4. 열이나 밀폐조건과 관계없이 물과 폭발적(explosively)으로 반응하는 물질
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상승된 온도 압력에서 쉽게 격렬한(violent) 화학적 변화를 야기

등급	결정기준
	시키는 물질 2. 250 °C에서 IPD가 10 W/mL이상이고 100 W/mL이하인 물질 3. 물과 격렬(violent)하게 반응하거나 물과 잠재적 폭발혼합물을 형성하는 물질
1	1. 일반적으로 안정하나 상승된 온도 압력에서 불안정해질 수 있는 물질 2. 250 °C에서 IPD가 0.01 W/mL이상이고 10 W/mL이하인 물질 3. 물과 강하게(Vigorous) 반응하는 물질 4. 공기, 빛, 습기에 노출되면 변화하거나 분해되는 물질
0	1. 일반적으로 안정하며, 화재조건에서도 안정한 물질 2. 250 °C에서 IPD가 0.01 W/mL이하인 물질 3. 물과 반응하지 않는 물질 4. DSC 시험에서 500 °C이하에서 발열 peak을 보이지 않는 물질

여기서, 순간동력밀도(Instantaneous Power Density, IPD)는 물질의 분해/반응 엔탈피와 지정된 온도(250 °C)에서 결정된 초기 반응속도를 조합하여 계산되며, 단위부피 및 시간당 열에너지의 양을 나타낸다. IPD 값은 열역학 표, 계산 또는 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC)/Accelerating Calorimetry, ARC)를 이용하여 구할 수 있다. 250 °C에서 물질의 초기 분해속도는 아레니우스 식에 의하여 계산할 수 있으며, R은 기체상수(=8.314 J/mol·K), T는 523K이다.

$$Rate = Conc^{order} \times A_{PRE} \times e^{-E_a/RT}$$

$$UNITS : \frac{g}{mL \times s} = \left(\frac{g}{mL}\right)^{order} \times \left(\frac{g}{mL}\right)^{1-order} \times \left(\frac{1}{s}\right) \times e^{-[(J/mol)/[J/(molK)^K]}$$

$$IPD = -\Delta H \times Rate$$

$$UNITS : \frac{W}{mL} = \frac{J}{g} \times \frac{g}{mL \times s}$$

IPD의 계산에 대한 예를 들면 다음과 같다.

- 분해 엔탈피 (ΔH) : $-340 J/g$
- 아레니우스 활성화에너지 (E_a) : $152 kJ/mol$
- 아레니우스 전지수 (A_{PRE}) : $1.60 \times 10^{+15} s^{-1}$
- 반응 차수 (N) : 1
- 초기물질의 농도 또는 순수물질 농도 : $0.8 g/mL$

$$Rate = Conc^{order} \times A_{PRE} \times e^{-E_a/RT}$$

$$UNITS : \frac{g}{mL \times s} = \left(\frac{g}{mL}\right)^{order} \times \left(\frac{g}{mL}\right)^{1-order} \times \left(\frac{1}{s}\right) \times e^{-[(J/mol)/[J/(molK)^K]]}$$

$$Rate = 0.80^{+1} \times 1.60 \times 10^{+15} \times e^{-[152000/8.314 \times (273+250)]}$$

$$Rate = 0.80^{+1} \times 1.60 \times 10^{+15} \times e^{-[152000/4347]}$$

$$Rate = 0.79 g/mL \cdot s$$

$$IPD = -\Delta H \times Rate$$

$$UNITS : \frac{W}{mL} = \frac{J}{g} \times \frac{g}{mL \times s}$$

$$IPD = -(-340) \times 0.79$$

$$IPD = 270 W/mL$$

위의 표에서 규정되는 안정성 등급 판정기준 이외에 앞서 언급된 물과의 반응성이 있는데, 이는 소화를 위하여 사용되는 물이 해당 물질과 혼합되었을 때의 두 가지 시나리오를 상정하여 판정한다. 즉, 급격하게 열을 발생하거나, 혹은 열과 함께 가스를 발생하는지 여부를 1:1 혼합에 의한 열량을 측정하는 방법으로 결정하는데 그 기준은 <표 2-10>과 같다.

〈표 2-10〉 NFPA의 물반응성(Water Reactivity) 지수등급 및 결정기준

등급	혼합 시 발생하는 열량	비고
4		물반응성에서 4등급은 고려하지 않음
3	600 cal/g 혹은 그 이상	폭발적(explosive) 반응
2	100 cal/g 이상 600 cal/g 미만	맹렬한(violent) 반응
1	30 cal/g 이상 100 cal/g 미만	격렬한(vigorous) 반응
0	30 cal/g 미만	반응하지 않음

3) 국제연합(UN) 위험물 운송기준

UN RTDG(Recommendation on the Transport of Dangerous Goods, RTDG)는 수송되는 위험물에 대해 적용이 되며 각국에서 독자적으로 제정하고 있는 위험물 운송의 국제적 단일화를 위해 마련된 기준이다. “위험물 안전 운송에 관한 유엔권고”를 제정하여 도로, 철도, 항공 및 선박 등의 모든 운송수단에 적용되며, UN RTDG에 의한 위험물 분류는 <표 2-11>과 같은 범주로 구분된다.

〈표 2-11〉 UN RTDG에 의한 위험물 분류

등급	구분
Class 1	화약류(Explosives)
Class 2	가스류(Gases)
Class 3	인화성 액체류(Flammable liquids)
Class 4	가연성 물질(Flammable substances) 4.1 : 가연성 고체(Flammable solids), 자기반응성 물질(Self-reactive substance), 잠재성 화약류(Desensitized explosives)

등급	구분
	4.2 : 자연발화성 물질(Spontaneous substance) 4.3 : 물반응성 물질(Water prohibitive substance)
Class 5	산화성 물질 및 유기과산화물(Oxidizing substances & Organic peroxide) 5.1 : 산화성 물질 5.2 : 유기과산화물
Class 6	독극물 및 전염성 물질(Toxic & Infectious substances) 6.1 : 독극물 6.2 : 전염성 물질
Class 7	방사성 물질(Radioactive materials)
Class 8	부식성 물질(Corrosive)
Class 9	혼합위험물질 및 제품(Miscellaneous dangerous substances & articles)

4) DOW 화재·폭발지수

DOW Index는 화재·폭발위험을 상대적으로 표시하는 F&EI(화재·폭발 위험지수 : Fire & Explosion Index)와 독성물질의 확산에 따른 위험을 상대적으로 표시하는 CEI(화학물질폭로영향지수 : Chemical Exposure Index)로 크게 나눌 수 있다. 특히, F&EI는 2단계로 진행될 수 있는데, 이는 각 설비의 상대적 위험도를 정량화하는 것으로써 위험성 평가기법의 하나로도 활용하고 있다.

CEI는 각 물질의 ERPG 농도와 증발의 용이성 등을 고려하여 해당 화학물질이 노출되었을 때 사람에게 영향을 줄 수 있는 농도의 영향거리를 산출하고, 그에 따른 대책을 마련하기 위한 정량적 위험성평가의 하나로 활용된다.

F&EI는 하나의 단위설비를 기준으로 평가하는 위험성 평가의 일종으로, 제1단계에서 해당 설비에서 취급하는 물질의 위험정도(물질계수)와 해당 설비의 공정특성과 배치에 따른 위험정도를 도표 등을 이용하여 정량화하여 위험도

(Penalty)를 산출한다. 제2단계에서는 사고예방을 위한 공정제어 특성, 사고 시 물질격리의 용이성, 소방설비 등의 대책 효과 등을 고려한 신뢰성(Credit)을 산출한다. 이와 같이 Penalty와 Credit을 이용하여 공정의 상대위험순위를 제공한다.

또한 DOW Index는 F&EI를 산출할 때 기본적으로 사용되며, 물질 자체의 위험정도를 나타내는 물질계수(Mf)는 물질의 연소열, 인화점, 끓는점을 기준으로 정한 NFPA의 화재위험지수(Nf), 반응위험지수(Nr), 보건위험지수(Nh) 등을 고려하여 결정한다. 이때 공정의 운전조건에 따라 물질계수를 보정하게 되는데, 공정온도가 60 °C 이상인가, 인화점 이상인가, 발화점 이상인가 등에 대해 분석하고 해당 조건에 따른 보정값을 입력하도록 구성되어 있다. 즉, 단위공정의 온도를 고려하여 동일한 물질이라 할지라도 사용 또는 취급온도에 따라 물질계수의 값이 다르게 적용된다.

Dow Index에 나와 있지 않은 물질계수는 <표 2-12>와 같은 방법으로 정한다. 여기서 액체나 기체의 Nf는 인화점 자료에서 얻을 수 있고, 분진과 mist의 St는 폭발시험결과로 얻을 수 있다. 그리고 인화성 고체의 Nf는 <표 2-12>의 좌측 열에 주어진 것처럼 물질의 인화점과 비점에 따라 달라진다. 또한 Reactivity value(Nr)는 물질 자체의 불안정성(또는 물과의 반응성) 혼합상태 또는 상온에서 화학물의 불안정성에 따라 정해진다. 특히, 반응성은 자체 반응성(불안전성과) 물과의 반응성 모두를 나타낸다는 것에 유의하여야 한다.

Reactivity value(Nr)는 최초 DTA(Differential Thermal Analysis) peak 온도를 사용하거나, <표 2-13>과 같이 DSC(Differential Scanning Calorimetry) 발열로부터 구할 수 있다.

〈표 2-12〉 물질계수 산정지침

# 1. 액체 및 가스 Flammability or Combustible	NEPA325M or 49	반응성 및 불안정성				
		Nr=0	Nr=1	Nr=2	Nr=3	Nr=4
# 2. NON-Combustible	Nf=0	1	14	24	29	40
F.P > 93°C	Nf=1	4	14	24	29	40
F.P > 37°C <93°C	Nf=2	10	14	24	29	40
F.P < 93°C, B.P > 93°C	Nf=3	16	16	24	29	40
F.P < 33°C, B.P < 38°C	Nf=4	21	21	24	29	40
# 3. Combustible Dust or Mist						
St-1 (Kst <200 bar < /sec)		16	16	24	29	40
St-2 (Kst = 201-300 bar < m/sec)		21	21	24	29	40
St-3 (Kst <300 bar < m/sec)		24	24	24	29	40
Combustible Solids						
# 4. Dense >40 MM Thick	Nf=1	16	16	24	29	40
# 5. Open 40 < MM Thick	Nf=2	21	21	24	29	40
# 6. Foam, Fiber, Power	Nf=3	24	24	24	29	40

〈표 2-13〉 반응성 물질의 반응위험지수

발열온도(°C)	Nr
> 400	0
305-400	1
215-215	2
125-215	3
<125	4

다만, 몇 가지 예외가 있다.

- ① 만약 Exotherm peak 시 $Nr=4$ 로 발열온도가 나타났을 지라도 물질, 혼합물 또는 화학물이 충격에 예민하지 않으면 $Nr=3$ 으로 한다.
- ② 물질 또는 화학물이 산화제라면 Nr 에 1을 더 증가시킨다.($Nr=4$ 를 초과하지 않는 범위 내에서)
- ③ 충격에 예민한 물질은 발열온도에 따라 $Nr=3$ 또는 $Nr=4$ 로 한다.
- ④ 만약 얻어진 Nr 이 물질, 혼합물 또는 화학물이 알려진 특성과 일치하지 않을 때는 다시 반응성 화학물질을 테스트하여야한다.

5) 기타 연구사례

(1) Carreto-Vazquez 등(2009)

화학반응이 일어날 경우 다량의 열이 급속히 방출할 뿐만 아니라 용기 내에서 상당한 압력 증가를 일으킬 수 있는 가스 또는 휘발성 화합물을 생성시킬 수 있어서 압력강화 및 급격한 압력방출과 같은 잠재적 위험성이 내재되어 있다.

IPD(분해열과 초기 반응속도를 조합) 값의 범위에 따라 반응성 물질의 위험성을 등급화하기 위해 화학공정 산업에서 널리 사용되고 있는 NFPA 704 불안정성 등급(전 반응성 등급)에는 이러한 압력 위험성이 포함되어 않고 있다. 이에 Carreto-Vazquez 등(2009)은 반응성 물질의 Calorimetric 데이터, 문헌검토, 실험자료 등을 통하여 최대 폭발압력 및 최대 폭발압력 상승속도에 대해 값을 normalized하고, 압력 위험성을 등급화 하여 <표 2-14>와 같이 제시하였다.

NFPA 704 불안정성 등급기준에 압력 위험성을 고려한 등급지수를 적용하기 위해서는 실험에 사용된 시료의 초기 질량, 시료 상부 증기 공간의 부피, 최대 폭발압력, 최대 폭발압력 상승속도와 같은 데이터를 알아야 적용이 가능하기 때문에 이 기준을 적용하는데 어려움이 존재한다.

〈표 2-14〉 정규화된 폭발압력 및 폭발압력속도 기반 압력 위험성 등급지수

등급	위험정도	압력 및 압력변화속도 기준
Nr,p=4	폭발압력이 높고 폭발압력상승속도가 빠른 경우	$PN \geq 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$, and $(dP/dt)N \geq 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
Nr,p=3	폭발압력이 높지만, 폭발압력상승속도가 보통이거나 낮은 경우	$PN \geq 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$, and $(dP/dt)N < 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
Nr,p=2	폭발압력이 높지 않으나, 폭발압력상승속도가 높은 경우	$PN < 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$, and $(dP/dt)N \geq 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
Nr,p=1	폭발압력이 높지 않으면서 폭발압력상승속도가 낮은 경우	$PN < 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$, and $(dP/dt)N < 10 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
Nr,p=0	화재조건에서 안정한 물질. 물질은 휘발성 화합물 또는 비응축성 가스를 생성하지 않음	

(2) Heikkila

Heikkila는 "Inherent safety in process plant design: an index-based approach", 1999) 연구를 통하여 total index(chemical index + process index) 기반 화학공정에 대한 본질안전지수를 개발하여 제시하였다. Chemical index에는 반응열, 가연성, 폭발성, 독성, 부식성, chemical interaction과 같은 요소 그리고 process index는 화학물질 inventory, 공정온도 및 압력, 장치안전, 안전한 공정 구조물 요소를 고려하였다.

$$I_{TI} = I_{CI} + I_{PI} \quad (2-1)$$

여기서 I_{TI} 는 총 본질안전지수(total inherent safety index), I_{CI} 는 화학적 본질안전지수(chemical inherent safety index), I_{PI} 는 공정본질안전지수(process

inherent safety index)이다. 이때, I_{II} 는 다음과 같다.

$$I_{CI} = I_{RHM,max} + I_{RS,max} + I_{NT,max} + (I_{FL} + I_{EX} + I_{TOX})_{max} + I_{COR,max} \quad (2-2)$$

여기서 I_{RHM} 는 주반응에 대한 반응열 서브지수(reaction heat subindex for the main reaction), I_{RS} 는 부반응에 대한 반응열 서브지수(reaction heat subindex for the side reaction), I_{INT} 는 반응상호작용 서브지수(chemical interaction subindex), I_{FL} 는 인화성 서브지수(flammability subindex), I_{EX} 는 폭발성 서브지수(explosiveness subindex), I_{TOX} 는 총 노출 서브지수(toxic exposure subindex)이고, I_{COR} 는 부식성 서브지수(corrosiveness subindex)이다.

또한 I_{PI} 는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$I_{PI} = I_I + I_{T,max} + I_{P,max} + I_{EQ,max} + I_{ST,max} \quad (2-3)$$

여기서 I_I 는 인벤토리 서브지수(inventory subindex), I_T 는 공정온도 서브지수(process temperature subindex), I_P 는 공정압력 서브지수(process pressure subindex), I_{EQ} 는 장치안전 서브지수(equipment safety subindex), 그리고 I_{ST} 는 안전공정구조 서브지수(safe process structure subindex)이다.

앞에서 언급된 화학물질 지수에서 고려된 요소 중 반응열, 반응상호작용(chemical interaction), 가연성 및 폭발성 서브지수를 정리하면 <표 2-15>와 같으며, 플랜트 구역에서의 물질과 공정물질의 원하지 않는 반응을 고려하여 Hatayama 등(1980)이 제안한 반응상호작용 위험성 등급기준은 <표 2-16>과 같이 나타낼 수 있다.

〈표 2-15〉 주반응열 및 부반응열 위험등급 서브지수

등급	반응열/주반응, 부반응
0	Thermally neutral ≤ 200 J/g or endothermic
1	Mildly exothermic <600 J/g
2	Moderately exothermic <1200 J/g
3	Strongly exothermic <3000 J/g
4	Extremely exothermic ≥ 3000 J/g

〈표 2-16〉 화학물질 화학적 상호작용 위험등급 서브지수

등급	화학적 상호작용	등급	화학적 상호작용
1-3	생성열	2-3	가연성가스 생성
4	화재	4	폭발
1	해롭지 않은 비가연성가스, 가스 생성	2-3	급속한 중합반응
2-3	독성가스 생성	1	가용성 독성물질

가연성 위험등급에 대한 서브지수는 <표 2-17>과 같이 인화점 및 비점을 고려하여 EU 지침(Pyotsia, 1994)을 따랐고, 폭발성(explosiveness) 위험등급 분류기준은 <표 2-18>에 나타낸 바와 같이 가연한계 범위(UFL-LFL 차)로 하였다.

〈표 2-17〉 가연성 위험등급 서브지수

등급	가연성
0	Nonflammable
1	Combustible (인화점 > 55 °C)
2	Flammable (인화점 ≤ 55 °C)
3	Easily flammable (인화점 < 21 °C)
4	Very flammable (인화점 < 0 °C, 끓는점 ≤ 35 °C)

〈표 2-18〉 폭발성 위험등급 서브지수

등급	폭발성 (UFL - LFL) vol%
0	폭발성이 없음
1	0-20
2	20-45
3	45-70
4	70-100

가연한계 범위(UFL-LFL)로 폭발성(explosiveness) 등급을 구분하는 것은 잘못된 결과를 일으킬 수 있다. 예를 들어, 프로판은 일산화탄소 또는 메탄보다 가연한계 범위가 매우 낮으나 증류연소속도는 보다 높다. 가연한계 범위가 클수록 더 높은 반응성을 나타내는 것이 아니기에 폭발성 기준으로 제안된 가연한계 범위는 부적절한 것으로 판단된다. 일부물질에 대한 연소한계 및 증류연소속도는 <표 2-19>와 같다.

〈표 2-19〉 일부 물질에 대한 LFL, UFL, UFL-LFL 및 층류연소속도 자료

물질	LFL	UFL	UFL-LFL	SI
아세틸렌	2.5	100.0	97.5	1.44
벤젠	1.4	7.1	5.7	0.48
일산화탄소	12.5	75.0	62.5	0.29
에탄	3.0	12.5	9.5	0.45
에틸렌	3.1	32	28.9	0.68
수소	4.0	74	70	1.70
메탄	5.0	15	10	0.43
노말부탄	1.9	8.5	6.6	0.45
프로판	2.2	8.5	7.3	0.46

(3) Salzano 및 Benedetto(2012)

개방 및 부분밀폐공간에서의 가스 및 증기운 폭발, 밀폐공간에서의 가스 및 증기 폭발, 밀폐공간에서의 분진폭발로 구분하여 공정산업에서의 폭발에 대한 본질안전지수를 개발하여 제안하였다.

또한 개방 및 부분밀폐공간에서의 가스 및 증기운 폭발에 대한 지수에서는 물질의 물리적 위험특성 뿐만 아니라 폭발의 심각성을 야기시키는 조건도 함께 고려하여 연료의 반응성, 층류연소속도 및 누출 주변의 장애물 밀집도의 위험 등급을 <표 2-20>과 같이 반영하였다.

〈표 2-20〉 연료의 반응성, 층류연소속도 및 누출 주변의 장애물 밀집도를 고려한 위험등급

반응성 정도	Sl	Congestion Low	Congestion Medium	Congestion High
High	Sl >1.0 m/s	3	4	4
Medium	1.0 m/s < Sl < 0.4 m/s	1	3	4
Low	Sl < 0.4 m/s	1	2	3

가) 밀폐공간에서의 가스 및 증기

밀폐공간에서는 폭발압력 상승속도가 중요하기 때문에 가스폭연지수(Kg)를 사용하였다.

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} = \frac{Kg}{\sqrt[3]{V_{vessel}}} \tag{2-4}$$

나) 밀폐공간에서 분진폭발

밀폐공간에서의 분진폭발 위험성 등급을 분류하기 위해 분진폭연지수(Kst)와 국제표준(ASTM and UNI_EN)에서 정하는 분진입자 직경 70 μm 를 고려하여 〈표 2-21〉과 같이 제안하였다.

〈표 2-21〉 분진입자 크기 및 Kst 를 고려한 분진 위험등급

Kst , bar m/s	Average particle diameter, μm		
	< 70	70 < d < 250	> 250
< 200	2	1	1
> 200	3	3	2
> 300	4	3	3

III. 선행 연구결과 분석

1. 선행 연구결과

안전보건공단에서 2014년에 수행한 선행연구인 「화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구」에서는 Heikkila가 제시한 물질위험지수를 활용하여 화학물질의 위험등급을 분류하였다. 즉, 인화성 액체 및 기체와 인화성 고체에 대하여 화재 및 폭발에 영향을 미치는 물질의 물리적 특성을 고려하여 화재·폭발 위험지수를 산출하고, 50개 인화성 액체 및 기체와 27개 인화성 고체를 고위험물질, 중위험물질 및 저위험물질로 각각 분류하였다.

1) 화재·폭발 위험지수

(1) 인화성 액체 및 기체

선행연구(2014)에서는 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험특성은 인화점(증기압, 증기밀도), 발화점, 연소한계와 같은 연소의 용이성, 연소열, 생성열, 분해열 등의 물질이 화재·폭발 시 내놓는 에너지와 연소속도, 최대 폭발압력, 최대 폭발압력 상승속도 등의 폭발 시 충격을 줄 수 있는 인자로 나눌 수 있으므로, 이들 인자에 대하여 식 (3-1)과 같이 Heikkila가 제시한 유사한 형태로 물질의 위험지수를 제시하였다.

$$I_{CI} = I_{FP,BP} + I_{LFL} + I_{AIT} + I_{BV} + I_{\Delta H_C} + I_{\Delta H_f} + I_{P_{max}} \quad (3-1)$$

여기서 $I_{FP,BP}$ 는 인화점·끓는점지수, I_{LFL} 는 폭발하한계지수, I_{AIT} 는 자연발화 온도지수, I_{BV} 는 연소속도(burning velocity)지수, $I_{\Delta H_C}$ 는 분해엔탈피지수, $I_{\Delta H_f}$

는 생성열지수, 그리고 $I_{P_{\max}}$ 는 최대 폭발압력지수이다.

식 (3-1)에서 폭발하한계지수는 인화점지수에 포함되는 양이고, 폭발압력은 폭발 시 발생하는 연소열 및 변화 시 몰수의 변화와 관계가 깊으며, 폭발압력 상승속도는 연소속도와 밀접한 관계를 가지므로, 이들 서브지수를 제외시켜 독립성을 갖는 서브지수로 물질위험지수 산출식을 식 (3-2)와 같이 제안하였다.

$$I_{FELG} = I_{FP,BP} + I_{AIT} + I_{BV} + I_{\Delta H_f} + I_{\Delta H_c} \quad (3-2)$$

여기서 I_{FELG} 는 인화성 액체/기체의 화재·폭발 위험지수이다.

식 (3-2)에서 각 서브지수는 <표 3-1> ~ <표 3-5>에서와 같이 각각 5단계의 등급으로 분류하고, 1등급 4점에서부터 5등급 20점까지 점수를 부여하였다.

<표 3-1> 선행연구(2014년)의 인화성 등급

등급	GHS 분류기준	물질 수 [†]	적용 물질 수	등급 점수
1	인화점 > 93°C (GHS 분류기준은 없음)	40	0	4
2	60.5°C <인화점 ≤ 93°C (등급:4)	52	4	8
3	23°C ≤ 인화점 ≤ 60.5°C (등급:3)	52	3	12
4	인화점 < 23°C이고, 끓는점 > 35°C (등급:2)	84	23	16
5	인화점 < 23°C이고, 끓는점 ≤ 35°C (등급:1)	39	20	20

[†] GHS 분류근거에 따른 자료

〈표 3-2〉 선행연구(2014년)의 연소열 등급

등급	연소열	물질 수 [†]	적용 물질 수	등급 점수
1	연소열 > -10 MJ/kg	28	3	4
2	-30 MJ/kg ≤ 연소열 < -10 MJ/kg	56	9	8
3	-40 MJ/kg ≤ 연소열 < -30 MJ/kg	83	12	12
4	-50 MJ/kg ≤ 연소열 < -40 MJ/kg	73	21	16
5	연소열 ≤ -50 MJ/kg	57	5	20

[†] NFPA 68 및 SFPE에서 공개된 296개 물질의 연소열 자료

〈표 3-3〉 선행연구(2014년)의 층류연소속도 등급

등급	층류연소속도	물질 수 [†]	적용 물질 수	등급 점수
1	층류연소속도 < 0.2 m/s	3	0	4
2	0.2 m/s ≤ 층류연소속도 < 0.5 m/s	11	25	8
3	0.5 m/s ≤ 층류연소속도 < 0.7 m/s	93	17	12
4	0.7 m/s ≤ 층류연소속도 < 1.0 m/s	7	5	16
5	층류연소속도 ≥ 1.0 m/s	3	3	20

[†] NFPA 68에서 보고된 117개 가연성 가스 또는 증기 물질의 층류연소속도 자료

〈표 3-4〉 선행연구(2014년)의 자연발화온도 등급

등급	AIT	물질 수 [†]	적용 물질 수	등급 점수
1	AIT ≥ 700 °C	9	0	4
2	550 °C ≤ AIT < 700 °C	23	9	8
3	260 °C ≤ AIT < 550 °C	100	27	12

4	$65\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{AIT} < 260\text{ }^{\circ}\text{C}$	30	8	16
5	$\text{AIT} < 65\text{ }^{\circ}\text{C}$	4	6	20

[†] Understanding explosion(1999)에 보고된 166개 물질의 자연발화온도 자료

<표 3-5> 선행연구(2014년)의 생성열 등급

등급	생성열	물질 수 [†]	적용 물질 수	등급 점수
1	생성열 < -5.0 MJ/Kg	39	3	4
2	-5.0 MJ/Kg ≤ 생성열 < -3.5 MJ/Kg	14	7	8
3	-3.5 MJ/Kg ≤ 생성열 < 0 MJ/Kg	32	23	12
4	0 MJ/Kg ≤ 생성열 < 1.0 MJ/Kg	25	7	16
5	생성열 ≥ 1.0 MJ/Kg	8	10	20

[†] 화공양론(동명사, 2007)에 수록된 108종의 물질 자료

<표 3-1> ~ <표 3-5>의 서브지수 등급점수를 사용하여 식 (3-2)에 의해 산출한 50개의 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수는 <표 3-6>과 같다.

<표 3-6> 선행연구(2014년)에서 인화성 액체 및 기체의 위험등급에 따른 화재·폭발 위험지수

순번	물 질	생성열 점수	연소열 점수	인화성 점수	자연발화 온도점수	연소속도 점수	위험 지수
1	아세틸렌	20	16	20	12	20	88
2	에틸렌	20	20	20	12	16	88
3	수소	16	20	20	8	20	84
4	1-부텐	16	16	20	12	12	76
5	프로필렌	16	16	20	12	12	76

순번	물 질	생성열 점수	연소열 점수	인화성 점수	자연발화 온도점수	연소속도 점수	위험 지수
6	프로핀	20	16	20	4	16	76
7	아크릴로나이트릴	20	12	16	12	12	72
8	이황화탄소	20	8	16	16	12	72
9	에탄	12	20	20	12	8	72
10	산화에틸렌	12	8	20	12	20	72
11	프로판	12	20	20	12	8	72
12	1,3-부타디엔	12	16	20	12	12	72
13	1-펜텐	12	16	20	12	12	72
14	시클로프로판	20	16	12	12	12	72
15	에틸렌이민	20	12	16	12	8	68
16	황화수소	12	8	20	12	16	68
17	염화비닐	16	8	20	12	12	68
18	크실렌	16	16	12	12	12	68
19	노말부탄	12	16	20	12	8	68
20	노말헵탄	12	16	16	16	8	68
21	디메틸에테르	8	12	20	12	16	68
22	시클로펜타디엔	20	16	16	8	8	68
23	아세트알데히드	8	8	20	16	12	64
24	아크롤레인	12	8	16	16	12	64
25	알릴알코올	12	12	16	12	12	64
26	벤젠	20	16	16	4	8	64
27	시클로hex산	20	4	16	16	8	64
28	디에틸에테르	8	12	20	16	8	64
29	노말hex산	12	16	16	12	8	64
30	메탄	8	20	20	8	8	64
31	옥탄	12	12	16	12	12	64
32	펜탄	12	16	16	12	8	64
33	산화프로필렌	12	12	20	4	16	64

순번	물 질	생성열 점수	연소열 점수	인화성 점수	자연발화 온도점수	연소속도 점수	위험 지수
34	이소프로필 아민	12	12	20	12	8	64
35	노말펜탄	12	16	16	12	8	64
36	프로피온알데히드	8	12	16	16	12	64
37	노말디칸	12	16	12	16	8	64
38	시클로펜탄	12	16	16	12	8	64
39	톨루엔	16	16	16	4	8	60
40	트리에틸아민	12	16	16	4	12	60
41	디페닐메탄	16	16	4	12	8	56
42	아세톤	8	12	16	4	12	52
43	이소프로필 알콜	4	12	16	12	8	52
44	가솔린(100-옥탄)	12	4	16	12	8	52
45	헥사데칸	12	16	4	12	8	52
46	아세트산에틸	8	8	16	8	8	48
47	에틸알콜	4	12	16	8	8	48
48	메틸알콜	4	8	16	8	12	48
49	무수암모니아	12	8	4	8	8	40
50	일산화탄소	12	4	4	8	8	36

(2) 인화성 고체

선행연구(2014)에서는 인화성 고체의 경우 화재·폭발에 영향을 미치는 위험인자를 생성엔탈피, 폭발열, 폭연점, 폭굉속도(폭속) 및 폭발 전 후 몰수 변화로 선택하고, 이를 지수화 하여 식 (3-3)과 같이 제안하였다.

$$I_{FES} = I_{VEG} + I_{DP} + I_{DV} + I_{\Delta H_f} + I_{\Delta H_e} \quad (3-3)$$

여기서 I_{FES} 는 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수, I_{VEG} 는 폭발 전·후 몰수의 변화(volume of explosion gases)지수, I_{DP} 는 폭연점(deflagration point)지수,

I_{DV} 는 폭굉속도(detonation velocity)지수, $I_{\Delta H_f}$ 는 생성엔탈피지수, 그리고 $I_{\Delta H_E}$ 는 폭발열지수이다.

식 (3-3)의 각 서브지수는 <표 3-7> ~ <표 3-11>에서와 같이 각각 5단계 등급으로 분류하고, 0등급 4점에서부터 4등급 20점까지 점수를 부여하였다.

<표 3-7> 선행연구(2014년)의 폭발 전·후 몰수 변화 등급

등급	Volume of explosion gases	적용물질 수	점수
0	VEG < 500 l/kg	3	4
1	500 l/kg ≤ VEG < 700 l/kg	2	8
2	700 l/kg ≤ VEG < 900 l/kg	27	12
3	900 l/kg ≤ VEG < 1100 l/kg	18	16
4	VEG ≥ 1100 l/kg	2	20

<표 3-8> 선행연구(2014년)의 폭연점 등급

등급	폭연점	적용물질 수	점수
0	폭연점 ≥ 350 °C	6	4
1	300 °C ≤ 폭연점 < 350 °C	8	8
2	250 °C ≤ 폭연점 < 300 °C	8	12
3	200 °C ≤ 폭연점 < 250 °C	12	16
4	폭연점 < 200 °C	12	20

〈표 3-9〉 선행연구(2014년)의 폭굉속도 등급

등급	폭굉속도	적용물질 수	점수
0	폭굉속도 < 5000 m/s	2	4
1	5000 m/s ≤ 폭굉속도 < 6000 m/s	5	8
2	6000 m/s ≤ 폭굉속도 < 7000 m/s	12	12
3	7000 m/s ≤ 폭굉속도 < 8000 m/s	20	16
4	폭굉속도 ≥ 8000 m/s	7	20

〈표 3-10〉 선행연구(2014년)의 생성열 등급

등급	생성엔탈피	적용물질 수	점수
0	생성엔탈피 < -3.0 MJ/kg	2	4
1	-3.0 MJ/kg ≤ 생성엔탈피 < -2.0 MJ/kg	6	8
2	-2.0 MJ/kg ≤ 생성엔탈피 < -1.0 MJ/kg	18	12
3	-1.0 MJ/kg ≤ 생성엔탈피 < 0 MJ/kg	16	16
4	생성엔탈피 ≥ 0 MJ/kg	18	20

〈표 3-11〉 선행연구(2014년)의 폭발열 등급

등급	폭발열	적용물질 수	점수
0	폭발열 < 2.0 MJ/kg	3	4
1	2.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 3.0 MJ/kg	7	8
2	3.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 4.0 MJ/kg	21	12
3	4.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 5.0 MJ/kg	14	16
4	폭발열 ≥ 5.0 MJ/kg	11	20

<표 3-7> ~ <표 3-11>의 서브부지수 등급점수를 사용하여 식(3-3)에 의해 산출한 27개의 인화성 고체물질의 화재·폭발 위험지수는 <표 3-12>와 같다.

<표 3-12> 선행연구(2014년)에서 인화성 고체의 위험등급에 따른 화재·폭발 위험지수

순번	물 질	생성엔탈피점수	VEG 점수	폭발열 점수	폭굉속도 점수	폭연점 점수	위험지수
1	옥소겐	20	16	20	20	12	88
2	에틸렌디니트레아민(EDNA)	16	16	16	16	20	84
3	니트로이소부틸 글리세롤 트리니트레이트	16	12	20	16	20	84
4	테트릴	20	12	16	16	20	84
5	니트로마니트	12	8	20	20	20	80
6	펜타에리트리톨테트라니트레이트	12	12	20	20	16	80
7	폴리비닐질산염(PVN)	12	16	16	16	20	80
8	펜테리트리톨헥사니트레이트	12	12	20	16	16	76
9	2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민	20	12	16	16	12	76
10	질산하이드라진	8	16	16	20	16	76
11	니트로글리콜	12	12	20	16	16	76
12	디에틸렌글리콜디니트레이트	8	16	16	12	20	72
13	트리아미노구아니딘니트레이트	16	20	12	8	16	72
14	3-니트로-1,2,4-	16	12	12	16	12	68

순번	물 질	생성엔탈피점수	VEG 점수	폭발열 점수	폭굉속도 점수	폭연점 점수	위험지수
	트리아졸-5-원						
15	헥사니트로에탄	20	12	8	4	20	64
16	메타디니트로벤젠	16	16	8	12	12	64
17	트라이나이트로톨루엔	16	12	16	12	8	64
18	트리니트로아닐린	16	12	12	16	8	64
19	트리니트로아니솔	16	12	12	12	12	64
20	2,4,6-트리니트로크레졸	12	12	12	12	16	64
21	트리니트로페녹시니트레이트	16	12	12	16	8	64
22	암모늄피크레이트	12	16	8	16	8	60
23	헥사메틸렌트로페폭사이드디아민	12	16	12	4	16	60
24	피크르산	12	12	12	16	8	60
25	1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠	16	12	12	16	4	60
26	에틸렌디아민디니트레이트	4	16	12	12	4	48
27	아지화납	20	4	4	8	4	40

2) 화학물질의 위험성 등급분류

<표 3-6> 및 <표 3-12>에서와 같이 식 (3-2) 및 식(3-3)에 의해 산출한 인화성 액체 및 기체와 인화성 고체의 위험지수 값이 80점 이상인 경우는 고위험물질, 70점 이상이고 80점 미만은 중위험물질, 그리고 70점 이하는 저위험물질로 구분하였으며, 그 결과는 <표 3-13> 및 <표 3-14>와 같다.

〈표 3-13〉 선행연구(2014년)에서 50종의 인화성 액체 및 기체에 대한 위험물질 구분결과

분류	물질	비고
고위험물질	수소	PSM 제출대상 및 사고대비 물질
	아세틸렌 에틸렌	인화성 액체 및 기체
중위험물질	아크릴로나이트릴 이황화탄소 산화에틸렌	PSM 제출대상 및 사고대비 물질
	1-부텐 프로필렌 프로핀 에탄 프로판 1,3-부타디엔 1-펜텐 시클로프로판	인화성 액체 및 기체
저위험물질	에틸렌이민 황화수소 염화비닐 아크롤레인 알릴알코올 벤젠 산화프로필렌 톨루엔 트리에틸아민 아세트산에틸 무수암모니아	PSM 제출대상 및 사고대비 물질

분류	물질	비고
	일산화탄소 크실렌 노말부탄 노말헵탄 디메틸에테르 시클로펜타디엔 아세트알데히드 시클로헥산 디에틸에테르 노말헥산 메탄 옥탄 펜탄 이소프로필아민 노말펜탄 프로피온알데히드 노말디칸 시클로펜탄 디페닐메탄 아세톤 이소프로필알콜 가솔린(100-옥탄) 헥사데칸 에틸알콜 메틸알콜	인화성 액체 및 기체

〈표 3-14〉 선행연구(2014년)에서 27종의 인화성 고체에 대한 위험물질 구분결과

분류	물질
고위험물질	옥소젠 에틸렌디니트레아민(EDNA) 니트로이소부틸글리세롤트리니트레이트 테트릴 니트로마이트 펜트리트 폴리비닐질산염(PVN)
중위험물질	디펜테리트리톨헥사니트레이트 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민 질산하이드라진 니트로글리콜 디에틸렌글리콜디니트레이트 트리아미노구아니딘니트레이트
저위험물질	3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원 헥사니트로에탄 메타디니트로벤젠 TNT(트라이나이트로톨루엔) 트리니트로아닐린 트리니트로아니솔 2,4,6-트리니트로크레졸 트리니트로페녹시니트레이트 암모늄피크레이트 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민 피크르산 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠 에틸렌디아민 디니트레이트 아지화납

2. 선행 연구결과 분석

1) 문제점

안전보건공단에서 수행한 선행연구(2014)에서는 식 (3-2) 및 식 (3-3)에서와 같이 화학물질의 화재·폭발 위험지수를 5단계 등급으로 구분한 각 서브지수의 점수를 합산한 총점으로 산출하고, 이를 사용하여 위험성 등급을 분류하였기 때문에 다음과 같은 문제점이 있다.

- 화학물질의 위험지수에 사용된 서브지수의 유의성 검증이 이루어지지 않았음
- 각 서브지수의 합산으로 위험지수 총점을 산출하여 위험지수에 미치는 각 서브지수의 영향이 동일하다고 가정하였음
- 각 서브지수의 등급과 등급점수를 동일하게 산출하여 위험지수에 미치는 각 서브지수의 영향이 동일하다고 가정하였음
- 위험성 등급분류에 사용된 화재·폭발 위험지수 값의 근거가 부족함

따라서 각 서브지수의 유의성을 검증하고, 각 서브지수의 등급을 5단계로 동일하게 설정하는 경우에도 위험지수에 미치는 영향이 다를 수 있기 때문에 서브지수에 가중치를 부여하거나, 보다 합리적인 다른 방법으로 위험지수를 산출하고, 타당성이 있는 위험지수 값을 사용하여 물질의 위험성 등급을 분류할 필요가 있다.

2) 위험성 서브지수의 유의성 분석

(1) 인화성 액체 및 기체

가) 생성열지수

<표 3-6> 및 <표 3-13>으로부터 생성열 지수와 위험지수와의 관계를 분석

한 결과를 요약하면 다음과 같다.

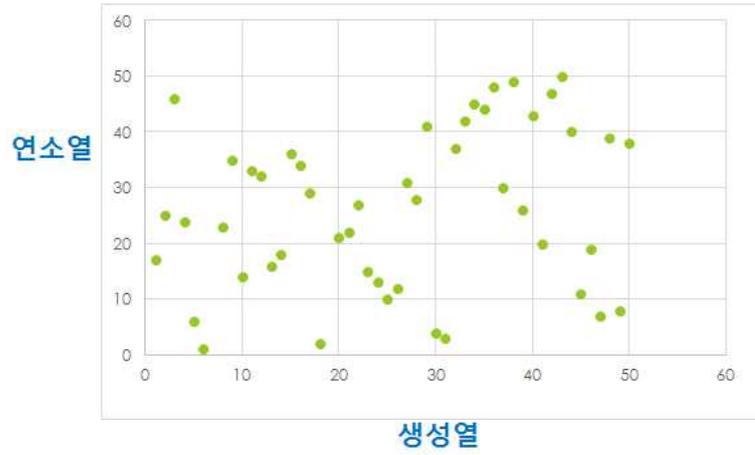
- 생성열지수가 5등급인 경우 아세틸렌과 에틸렌은 고위험물질이나, 나머지는 다양하게 분포되어 있음. 즉, 프로핀, 아크릴로나이트릴, 이황화탄소, 시클로프로판은 중위험물질이고, 에틸렌아민, 시클로펜타디엔, 벤젠, 시클로헥산은 저위험물질임
- 에탄, 톨루엔 등 생성열지수가 중간등급(3, 4등급)인 물질은 고, 중, 저 위험물질에 다양하게 분포되어 있음

이와 같은 결과로, 화재·폭발 위험성에서 사고영향으로 나타나는 연소열 및 연소속도 등급과 생성열 등급과의 관계를 나타낸 [그림 3-1] 및 [그림 3-2]에서와 같이 생성열지수는 연소열지수 및 연소속도지수와는 유의성이 매우 적음을 알 수 있다.



(a) 등급 비교

[그림 3-1] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소열지수 비교



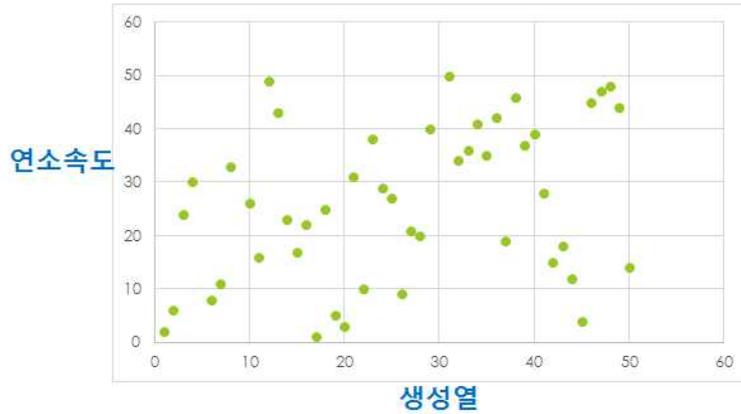
(b) 점수순위 비교

[그림 3-1] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소열지수 비교(계속)



(a) 등급 비교

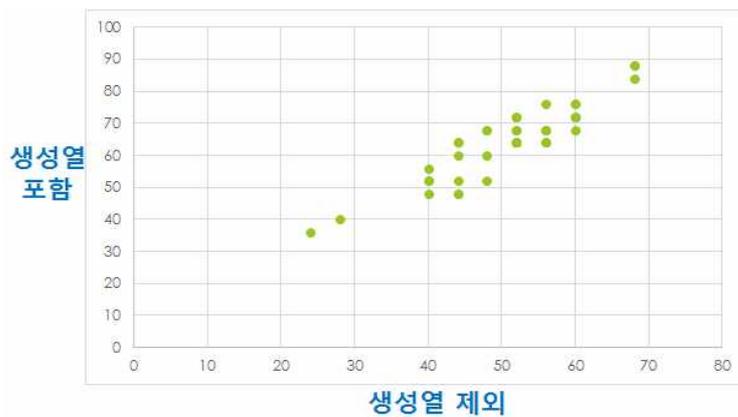
[그림 3-2] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소속도지수 비교



(b) 점수순위 비교

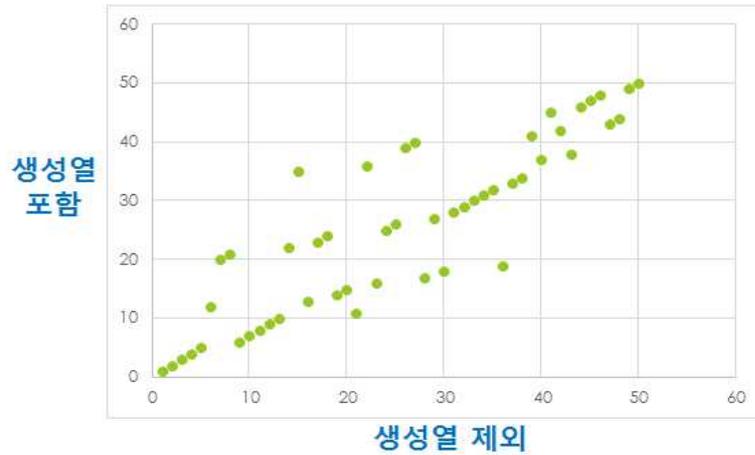
[그림 3-2] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수와 연소속도지수 비교(계속)

따라서 생성열지수는 [그림 3-3]에서와 같이 생성열의 제외 여부에 따라 화재·폭발 위험지수의 점수와 총점 순위 경향이 크게 변화가 없기 때문에 화재·폭발 위험지수에는 유의성이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 생성열은 물질이 가지고 있는 에너지이지만, 이 에너지가 화재 및 폭발에서 생성되는 에너지와는 관련이 적기 때문으로 판단된다.



(a) 점수 비교

[그림 3-3] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수 유의성



(b) 점수순위 비교

[그림 3-3] 인화성 액체 및 기체의 생성열지수 유의성(계속)

나) 자연발화온도지수

<표 3-6> 및 <표 3-13>으로부터 자연발화온도지수와 위험지수와의 관계로부터 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

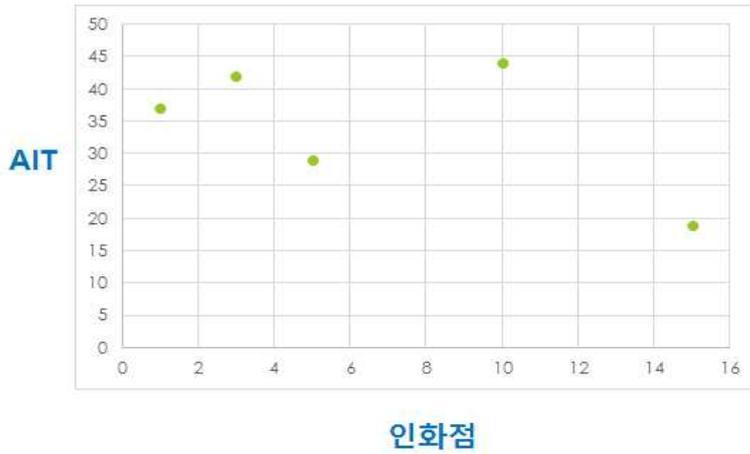
- 자연발화온도지수는 5등급이 없으며, 등급에 무관하게 다양한 위험지수를 나타내고 있음
- 4등급의 경우 이황화탄소는 중위험물질이나, 아세트알데히드 등 나머지 물질은 위험지수가 23~37순위로, 저위험물질임
- 아세틸렌과 에틸렌은 3등급이나 고위험물질이고, 나머지는 다양하게 분포되어 있음
- 수소는 2등급이나 고위험물질로 분류하였음

이와 같은 결과로, 화재·폭발 위험성에서 연소반응의 분위기 조성 및 용이성과 관련성이 큰 인화성(액체의 경우는 비점, 기체는 인화점) 등급과 AIT 등급과의 관계를 나타낸 [그림 3-4]에서와 같이 자연발화온도지수는 인화성지수와

유의성이 적음을 알 수 있다.

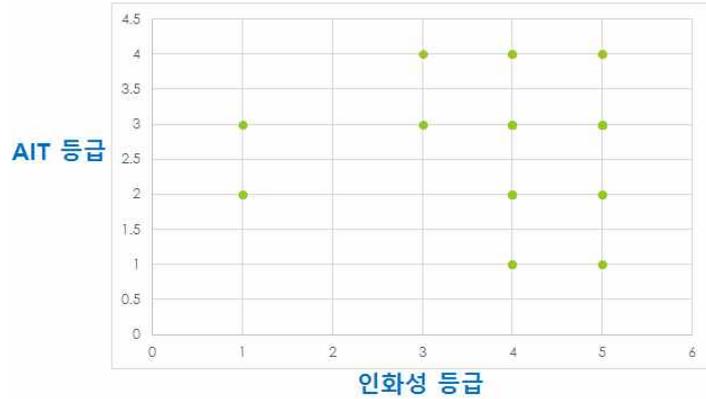


(a) 비점 등급순위 비교



(b) 인화점 등급순위 비교

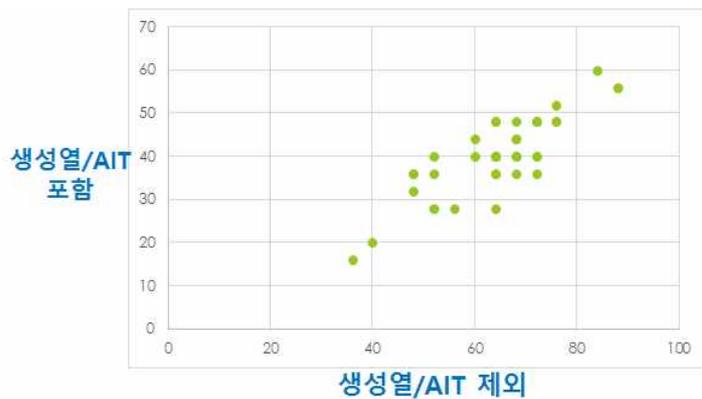
[그림 3-4] 인화성 액체 및 기체의 AIT지수와 인화성지수 비교



(c) 등급 비교

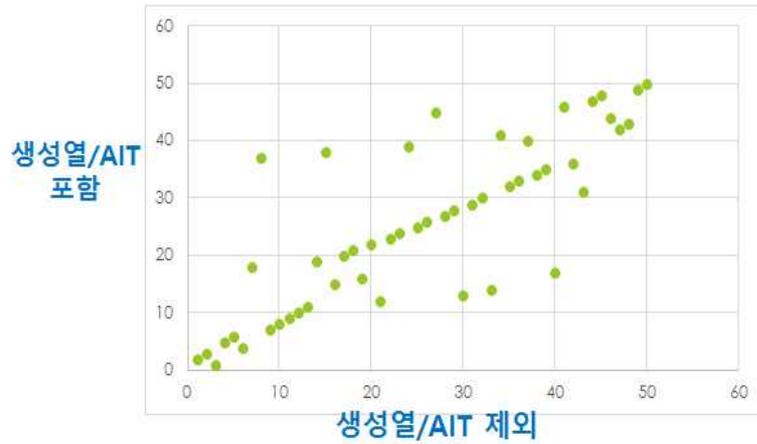
[그림 3-4] 인화성 액체 및 기체의 AIT지수와 인화성지수 비교(계속)

따라서 AIT지수는 [그림 3-5]에서와 같이 AIT지수의 제외 여부에 따라 화재·폭발 위험지수의 점수와 총점 순위 경향이 크게 변화가 없기 때문에 화재·폭발 위험지수에는 유의성이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 <표 3-5>에서와 같이 AIT는 대부분 상온보다 상당히 높기 때문에 인화성지수보다 위험지수에 미치는 영향이 적기 때문으로 판단된다.



(a) 점수 비교

[그림 3-5] 인화성 액체 및 기체의 AIT지수 유의성



(b) 점수순위 비교

[그림 3-5] 인화성 액체 및 기체의 AIT지수 유의성(계속)

(2) 인화성 고체

가) 생성열지수

<표 3-12> 및 <표 3-14>로부터 생성열지수와 위험지수와의 관계를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

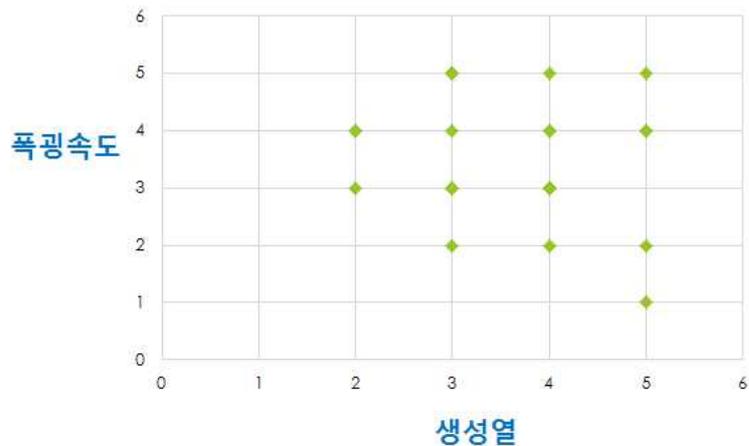
- 생성열지수가 5등급인 경우 옥소젠과 테트릴은 고위험물질이나, 2,4,6,2', 4',6'-헥사니트로디로디페닐아민은 중위험물질이고, 헥사니트로에탄과 아지화납은 저위험물질임. 특히, 아지화납은 27개 물질 중에서 가장 낮은 위험지수 점수임
- 에틸렌디니트레아민, 니트로이소부틸글리세롤 등 생성열지수가 중간등급 (3, 4등급)은 고, 중, 저 위험물질에 다양하게 분포되어 있음
- 질산과 하이드라진은 생성열지수가 2등급이지만, 중위험물질로 분류하였음

이와 같은 결과로, 화재·폭발 위험성에서 사고영향으로 나타나는 폭발열 및

폭굉속도와 생성열의 관계를 나타낸 [그림 3-6]에서와 같이 생성열지수는 폭발열지수 및 폭굉속도지수와 유의성이 매우 적음을 알 수 있다.



(a) 생성열지수와 폭발열지수 등급 비교

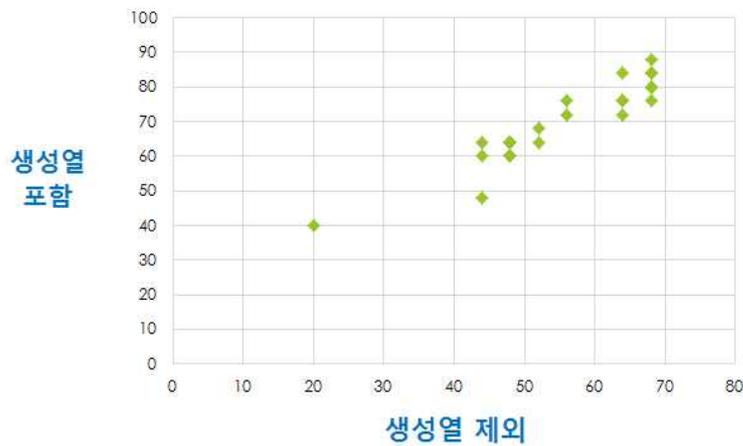


(b) 생성열지수와 폭굉속도지수 등급 비교

[그림 3-6] 인화성 고체의 생성열지수와 폭발열지수 및 폭굉속도지수 비교

따라서 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수에 미치는 생성열지수는 [그림 3-7]에서와 같이 화재·폭발 위험지수의 총점 순위 경향이 크게 변화가 없기 때

문에 화재·폭발 위험지수에는 유의성이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 인화성 액체 및 기체에서와 같이 생성열은 물질이 가지고 있는 에너지이지만, 이 에너지가 화재 및 폭발에서 생성되는 에너지와는 관련이 적기 때문으로 판단된다.



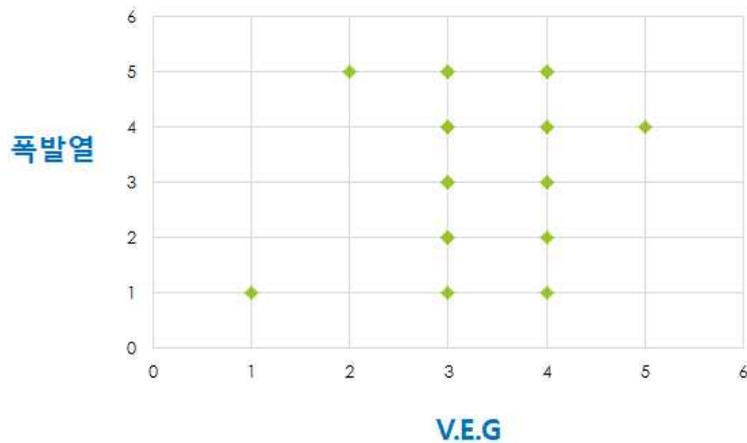
[그림 3-7] 인화성 고체의 생성열지수 유의성

나) 폭발 전·후 몰수변화(VEG)지수

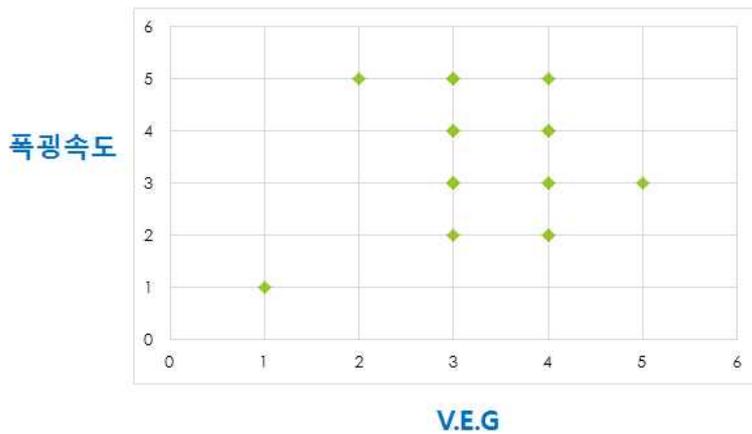
<표 3-12> 및 <표 3-14>로부터 VEG지수와 화재·폭발 위험지수와의 관계를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- VEG지수가 5등급인 트리아미노구아니딘니트레이트는 중위험물질임
- 4등급의 경우 옥소젠, 테트릴, 폴리비닐질산염은 고위험물질이나, 질산하이드라진, 등은 중위험물질과 저위험물질을 나타냄. 특히, 에틸렌디아민 디니트로레이트는 27개의 물질 중에서 26번째로 낮은 위험지수 점수임
- 테트릴 등 2,3 등급은 고, 중, 저 위험물질에 다양하게 분포되어 있으며, 특히 니트로마이트는 2등급이지만, 고위험물질로 분류하였음

이와 같은 결과로, 화재·폭발 위험성에서 사고영향으로 나타나는 폭발열 및 폭굉속도와 생성열의 관계를 나타낸 [그림 3-8]에서와 같이 생성열지수는 폭발열지수 및 폭굉속도지수와 유의성이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 인화성 액체 및 기체의 위험지수 고찰에서와 같이 폭발열은 생성열 및 폭발 전·후 몰수 변화와 관계가 깊기 때문으로 생각된다.



(a) VEG지수와 폭발열지수 등급 비교



(b) VEG지수와 폭굉속도지수 등급 비교

[그림 3-8] 인화성 고체의 VEG지수와 폭발열지수 및 폭굉속도지수 비교

따라서 [그림 3-9]에서와 같이 인화성 고체의 VEG지수는 화재·폭발 위험지수의 총점 순위 경향이 크게 변화가 없기 때문에 화재·폭발 위험지수에는 유의성이 매우 적음을 알 수 있다. 즉, 고체의 연소 및 폭발에 의해 폭발 전·후 물수 변화가 일어나고, 이로 인해 폭발열과 폭발속도가 형성되기 때문에 VEG지수는 이들 지수에 포함되어 화재·폭발 위험성에는 추가적으로 고려할 필요가 없는 것으로 판단된다.



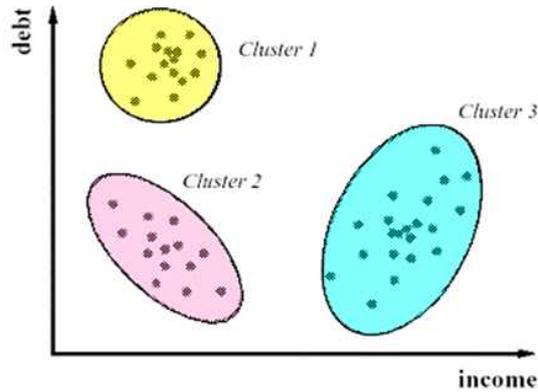
[그림 3-9] 인화성 고체의 VEG지수 유의성

3) 군집화(Clustering) 방법에 의한 위험성 서브지수 분석

가연성 물질의 화재·폭발 위험성 등급분류를 위해서는 화재·폭발 위험지수의 산출에 필요한 위험성 서브지수의 유의성 분석 뿐만 아니라, 각 위험성 서브지수에 대한 등급분류가 필요하다.

안전보건공단의 선행연구(2014년)에서는 물리화학적 데이터를 바탕으로, 전문가 의견과 데이터 구간을 고려하여 위험지수의 등급분류를 실시하였으나, 본 연구에서는 [그림 3-10]과 같이 군집화(clustering) 방법에 의한 위험성 서브지수의 등급분류를 수행하였다. 그러나 군집화를 위해서는 많은 물질의 물리화학

적 데이터가 필요하지만, 현재 연소속도 등의 자료가 미흡하기 때문에 등급분류의 신뢰성에는 한계가 있을 수밖에 없다.



[그림 3-10] 위험지수의 군집화 방법

따라서 앞으로 보다 많은 인화성 물질에 대한 물리화학적 데이터를 확보하여 군집화 등의 방법에 의해 위험지수의 등급분류를 실시하여 신뢰성을 확보할 필요가 있다.

(1) 인화성 액체 및 기체의 위험성 서브지수 등급

인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수에는 생성열지수와 자연발화온도 지수가 유의성이 적으므로, 인화성지수와 연소열지수 및 연소속도지수의 등급에 대해 분석하였다.

가) 인화성지수

인화성지수는 <표 3-1>과 같이 GHS를 근거로 등급을 분류하였으므로, 본 연구에서도 선행 연구결과를 그대로 적용하는 것이 타당성이 있다고 판단하였다.

〈표 3-15〉 인화성 등급

등급	GHS 분류기준	물질 수
1	인화점 > 93℃ (GHS 분류기준은 없음)	40
2	60.5℃ <인화점 ≤ 93℃ (등급:4)	52
3	23℃ ≤ 인화점 ≤ 60.5℃ (등급:3)	52
4	인화점 < 23℃이고, 끓는점 > 35℃ (등급:2)	84
5	인화점 < 23℃이고, 끓는점 ≤ 35℃ (등급:1)	39

따라서 [부록 1]의 물리적 성질을 사용하여 <표 3-15>에 의해 55종의 인화성 액체 및 기체의 인화성지수 등급을 분류한 결과는 <표 3-16>과 같다.

〈표 3-16〉 인화성 액체 및 기체의 인화성지수 등급

등급	적용물질	적용물질 수
1		0
2	디페닐메탄, 헥사데칸, 무수암모니아, 일산화탄소	4
3	시클로프로판, 크실렌, 노말디칸, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트	5
4	아크릴로나이트릴, 이황화탄소, 에틸렌이민, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 아크롤레인, 알릴알콜, 벤젠, 시클로헥산, 노말헥산, 옥탄, 노말펜탄, 프로피온알데히드, 시클로펜탄, 톨루엔, 트리에틸아민, 아세톤, 이소프로필알콜, 가솔린, 아세트산에틸, 에틸알콜, 메틸알콜, 스티렌, 아세트산비닐, 아세토나이트릴	25
5	수소, 에탄, 메탄, 황화수소, 1-부텐, 아세틸렌, 에틸렌, 프로필렌, 프로핀, 산화에틸렌, 프로판, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 염화비닐, 노말부탄, 디메틸에테르, 아세트알데히드, 디에틸에테르, 산화프로필렌, 이소프로필아민, 트리메틸아민	21

나) 연소열지수

<표 3-2>와 같이 선행연구에서 연소열지수의 등급분류를 실시한 50종의 인화성 액체 및 기체에 대하여 [부록 1]의 연소열을 사용하여 연소열지수를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 수소(-142.92 kJ/kg)와 가솔린(43.41 kJ/kg)을 제외한 인화성 액체 및 기체의 연소열은 약 -30 kJ/kg을 중심으로 고르게 분포되어 있음
- 선행연구에서는 50 kJ/kg이상의 물질을 5등급으로 분류하여 에탄(-55.71 kJ/kg) 등 약 50~56 kJ/kg의 연소열을 갖는 물질과 수소를 동일한 5등급으로 분류하였음.
- 또한 수소를 제외한 5등급 물질은 4등급(-40 ~ 50 kJ/kg)과 동일한 군집을 이루고 있음. 즉, 에탄 등은 수소보다는 4등급과 군집을 이루고 있음

따라서 183개 물질의 연소열 자료(양혁승 등의 부록1)를 군집화(clustering) 방법에 의해 분석한 결과, 수소는 5등급으로 분류하고, 나머지 물질에 대하여 1 ~ 4등급 부여 등 본 연구에서 설정한 연소열 등급은 <표 3-17>과 같다.

<표 3-17> 수정된 연소열 등급

등급	연소열	물질 수
1	연소열 > -10 MJ/kg	12
2	-20 MJ/kg ≤ 연소열 < -10 MJ/kg	28
3	-40 MJ/kg ≤ 연소열 < -20 MJ/kg	91
4	-60 MJ/kg ≤ 연소열 < -40 MJ/kg	51
5	연소열 ≤ -60 MJ/kg	1

또한 <표 3-17>의 등급기준에 따라 [부록 1]의 물리적 성질을 사용하여 인화성 액체 및 기체의 연소열지수 등급을 분류한 결과는 <표 3-18>과 같다.

<표 3-18> 인화성 액체 및 기체의 연소열지수 등급

등급	적용물질	적용물질 수
1	일산화탄소, 시클로hex산, 가솔린	3
2	염화비닐, 황화수소, 이황화탄소	3
3	이소프로필아민, 옥탄, 디에틸에테르, 에틸렌이민, 아크릴로나이트릴, 알릴알콜, 아세톤, 디메틸에테르, 프로피온알데히드, 에틸알콜, 산화프로필렌, 이소프로필알콜, 아크롤레인, 아세트알데히드, 산화에틸렌, 아세트산에틸, 메틸알콜, 무수암모니아, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트, 아세트산비닐, 아세토나이트릴	22
4	에탄, 메탄, 프로판, 에틸렌, 아세틸렌, 시클로프로판, 노말부탄, 프로필렌, 노말펜탄, 노말hex산, 1-부텐, 1-펜텐, 노말디칸, hex사데칸, 시클로펜탄, 프로핀, 시클로펜타디엔, 노말헵탄, 1,3-부타디엔, 트리에틸아민, 크실렌, 톨루엔, 벤젠, 디페닐메탄, 스티렌, 트리메틸아민	26
5	수소	1

다) 연소속도지수

<표 3-3>과 같이 NEFA 68에 보고된 117개의 인화성 액체 및 기체에 대하여 균집화에 의해 연소열지수를 분석한 결과, <표 3-19>와 같이 1~ 4등급의 등급구분 값이 다소 변경되었으나, 본 연구에서 설정한 연소열 등급의 적용물질 수에는 변화가 없었다.

〈표 3-19〉 수정된 연소속도 등급

등급	총류연소속도	물질 수
1	총류연소속도 < 0.3 m/s	4
2	0.3 m/s ≤ 총류연소속도 < 0.5 m/s	10
3	0.5 m/s ≤ 총류연소속도 < 0.75 m/s	93
4	0.75 m/s ≤ 총류연소속도 < 1.0 m/s	7
5	총류연소속도 ≥ 1.0 m/s	3

따라서 <표 3-19>의 등급기준에 의해 [부록 1]의 물리적 성질을 사용하여 분류한 인화성 액체 및 기체의 연소속도지수 등급은 <표 3-20>과 같다.

〈표 3-20〉 인화성 액체 및 기체의 연소속도지수 등급

등급	적용물질	적용물질 수
1		0
2	에탄, 프로판, 에틸렌이민, 노말부탄, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 벤젠, 시클로헥산, 디에틸에테르, 노말헥산, 메탄, 이소프로필아민, 노말펜탄, 노말디칸, 시클로펜탄, 톨루엔, 디페닐메탄, 이소프로필알콜, 가솔린, 헥사데칸, 아세트산에틸, 에틸알콜, 무수암모니아, 일산화탄소	24
3	1-부텐, 프로필렌, 아크릴로나이트릴, 이황화탄소, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 시클로프로판, 염화비닐, 크실렌, 아세트알데히드, 아크롤레인, 알릴알콜, 옥탄, 프로피온알데히드, 트리에틸아민, 아세톤, 메틸알콜, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트, 아세토나이트릴, 스티렌, 트리메틸아민	22
4	에틸렌, 프로판, 황화수소, 디메틸에테르, 산화프로필렌, 아세트산비닐	6

등급	적용물질	적용물질 수
5	아세틸렌, 수소, 산화에틸렌	3

(2) 인화성 고체

인화성 고체의 화재·폭발 위험성지수에는 생성열지수와 폭발 전·후 몰수변화 지수가 유의성이 적으므로, 폭연점지수와 폭발열지수 및 폭발속도지수의 등급 분류에 대해 분석하였다.

그 결과, 인화성 고체의 경우는 군집화 대상물질의 수가 매우 적을 뿐만 아니라, 선행연구에서 제시한 등급분류가 비교적 타당성이 있어서 본 연구에서도 선행연구의 등급분류를 그대로 적용하였다. 즉, 폭연점, 폭발열 및 폭발속도의 등급기준은 각각 <표 3-21> ~ <표 3-23>과 같다.

이를 바탕으로 [부록 2]의 물리적 성질을 사용하여 인화성 고체의 각 위험지수 등급은 각각 <표 3-24> ~ <표 3-26>과 같다. 다만, 선행연구에서는 인화성 고체의 위험지수 등급을 0 ~ 4등급으로 분류하였으나, 본 연구에서는 인화성 액체 및 기체에서와 같이 1 ~ 5등급으로 구분하였다.

<표 3-21> 수정된 폭연점 등급

등급	폭연점	물질 수
1	폭연점 $\geq 350\text{ }^{\circ}\text{C}$	6
2	$300\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{폭연점} < 350\text{ }^{\circ}\text{C}$	8
3	$250\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{폭연점} < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	8
4	$200\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{폭연점} < 250\text{ }^{\circ}\text{C}$	12
5	폭연점 $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	12

〈표 3-22〉 수정된 폭발열 등급

등급	폭발열	물질 수
0	폭발열 < 2.0 MJ/kg	3
1	2.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 3.0 MJ/kg	7
2	3.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 4.0 MJ/kg	21
3	4.0 MJ/kg ≤ 폭발열 < 5.0 MJ/kg	14
4	폭발열 ≥ 5.0 MJ/kg	11

〈표 3-23〉 수정된 폭굉속도 등급

등급	폭굉속도	물질 수
1	폭굉속도 < 5000 m/s	2
2	5000 m/s ≤ 폭굉속도 < 6000 m/s	5
3	6000 m/s ≤ 폭굉속도 < 7000 m/s	12
4	7000 m/s ≤ 폭굉속도 < 8000 m/s	20
5	폭굉속도 ≥ 8000 m/s	7

〈표 3-24〉 인화성 고체의 폭연점지수 등급

등급	적용물질	적용 물질수
1	아지화납, 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠, 에틸렌디아민다니트레이트	3
2	피크르산, 트라이나이트로톨루엔, 트리니트로페녹시니트레이트, 암모늄 피크레이트, 트리니트로아닐린	5

등급	적용물질	적용물질수
3	2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원, 트리니트로아니솔, 옥소젠, 메타디니트로벤젠	5
4	디펜테트리톨 헥사니트레이트, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 펜타에리트리톨테트라니트레이트, 2,4,6-트리니트로크레졸, 니트로글리콜, 트리아미노구아니딘 니트레이트, 질산하이드라진	7
5	헥사니트로에탄, 폴리비닐질산염(PVN), 에틸렌디니트레아민(EDNA), 니트로마니트, 니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 테트릴, 디에틸글리콜 디니트레이트	7

〈표 3-25〉 인화성 고체의 폭발열지수 등급

등급	적용물질	적용물질수
1	아지화납	1
2	헥사니트로에탄, 암모늄 피크레이트, 메타디니트로벤젠	3
3	트리아미노구아니딘니트레이트, 트리니트로페녹시니트레이트, 에틸렌디아민다니트레이트, 트리니트로아니솔, 트리니트로아닐린, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 피크르산, 2,4,6-트리니트로크레졸, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원, 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠	10
4	질산하이드라진, 폴리비닐질산염(PVN), 테트릴, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 디에틸글리콜 디니트레이트, 트라이나이트로톨루엔, 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민	7
5	니트로이소부틸글리세롤트리니트레이트, 니트로글리콜, 니트로마니트, 펜타에리트리톨테트라니트레이트, 옥소젠, 디펜테트리톨 헥사니트레이트	6

〈표 3-26〉 인화성 고체의 폭굉속도지수 등급

등급	적용물질	적용 물질수
1	헥사니트로에탄, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민	2
2	아지화납, 트리아미노구아니딘니트레이트	2
3	트라이나이트로톨루엔, 2,4,6-트리니트로크레졸, 에틸렌디아민 다니트레이트, 트리니트로아니솔, 디에틸글리콜 다니트레이트, 메타다니트로 벤젠	6
4	3-니트로-1,2,4-트리아졸- 5-원, 니트로이소부틸글리세롤 트 리니트레이트, 트리니트로페녹시 니트레이트, 에틸렌디니트레 아민(EDNA), 테트릴, 디펜테트리톨헥사니트레이트, 피크르산, 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠, 니트로글리콜, 트리니 트로아닐린, 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 암모늄피크레 이트, 폴리비닐질산염(PVN)	13
5	옥소젠, 질산하이드라진, 펜타에리트리톨 테트라니트레이트, 니트로마니트	4

IV. 화학물질의 물리적 위험성 산출 모델식 개발 및 위험성 등급분류

1. 화학물질의 화재·폭발 위험성 산출 모델식 개발

1) 화재 및 폭발 위험성

일반적으로 화재, 폭발 등의 사고 위험성은 다음과 같이 사고발생 가능성(LOF, Likelihood of Failure)과 사고결과 크기(Consequence of Damage)의 곱으로 나타낸다.

$$\text{위험성(Risk)} = \text{사고발생 가능성(LOF)} \times \text{사고결과 크기(COF)} \quad (4-1)$$

따라서 사고발생 가능성과 사고결과 크기의 등급에 따라 위험성 또는 위험도를 산출할 수 있으며, 각각 5개 등급으로 구분되는 경우에는 <표 4-1>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 4-1> 사고 위험성 산출 5×5 매트릭스

구 분		사고결과 크기 (COF)				
		A	B	C	D	E
사고발생 가능성 (LOF)	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

<표 4-1>에서 사고발생 가능성과 사고결과 크기, 즉 LOF와 COF를 곱한 값이 클수록 위험성이 크다고 할 수 있으며, 위험도를 고, 중, 저로 산출하는 경우에는 일반적으로 LOF 등급보다 COF 등급을 좀 더 중요하게 판단한다.

이와 같은 사고 위험성 산출 매트릭스를 화학물질의 위험성 산출에 적용하여 화재 또는 폭발 가능성과 사고영향에 대한 매트릭스로 표시하면 3장에서와 같이 위험지수를 각 서브지수의 합으로 산출하는 경우에 발생할 수 있는 서브지수의 등급분류 문제점과 화재·폭발 위험성 등급분류 문제점을 동시에 극복할 수 있는 장점이 있다.

(1) 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험성

제3장 2절의 화재·폭발 위험지수에 미치는 서브지수의 유의성 분석에서와 같이 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수에는 생성열과 자연발화온도가 크게 영향을 미치지 않고, 주로 인화성과 연소열 및 연소속도에 영향을 미친다.

따라서 인화성 액체 및 기체의 화재 위험성은 식 (4-2)와 같이 화재발생 가능성을 나타내는 인화성과 화재에 의한 사고결과인 복사열에 해당하는 연소열의 매트릭스로 나타낼 수 있고, 폭발 위험성은 식 (4-3)과 같이 폭발발생 가능성을 나타내는 인화성과 폭발에 의한 사고결과인 과압(overpressure)을 형성하는 연소속도의 매트릭스로 나타낼 수 있다.

$$\text{인화성 액체 및 기체의 화재 위험성} = \text{인화성} \times \text{연소열} \quad (4-2)$$

$$\text{인화성 액체 및 기체의 폭발 위험성} = \text{인화성} \times \text{연소속도} \quad (4-3)$$

(2) 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성

제3장 2절의 화재·폭발 위험지수에 미치는 서브지수의 유의성 분석에서와 같이 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수에는 생성열과 폭발 전·후 몰수 변화(VEG)가 크게 영향을 미치지 않고, 주로 폭연점과 폭발열 및 폭굉속도에 영향

을 미친다.

따라서 인화성 고체의 화재 위험성은 식 (4-4)와 같이 화재발생 가능성을 나타내는 폭연점과 화재에 의한 사고결과인 복사열에 해당하는 폭발열의 매트릭스로 나타낼 수 있고, 폭발 위험성은 식 (4-5)와 같이 폭발발생 가능성을 나타내는 폭연점과 폭발에 의한 사고결과인 과압을 형성하는 폭발속도의 매트릭스로 나타낼 수 있다.

$$\text{인화성 고체의 화재 위험성} = \text{인화성(폭연점)} \times \text{폭발열} \quad (4-4)$$

$$\text{인화성 고체의 폭발 위험성} = \text{인화성(폭연점)} \times \text{폭발속도} \quad (4-5)$$

2) 화재 및 폭발 위험지수 산출

인화성 액체 및 기체와 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성은 식 (4-2) ~ (식 4-5)와 같이 나타낼 수 있으므로, 제3장 제2절에서와 같이 각각의 서브지수를 5개 등급으로 구분하는 경우에는 다음과 같이 화재 및 폭발 위험지수 산출식을 제시할 수 있다. 즉, 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험지수 산출식은 각각 식 (4-6) 및 식 (4-7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{FLG} = I_{FP,BP} \times I_{\Delta H_C} \quad (4-6)$$

$$I_{ELG} = I_{FP,BP} \times I_{BV} \quad (4-7)$$

위 식에서 I_{FLG} 와 I_{ELG} 는 인화성 액체 및 기체의 화재위험지수와 폭발위험지수이고, $I_{FP,BP}$ 는 인화성지수, $I_{\Delta H_C}$ 는 연소열지수 그리고 I_{BV} 는 연소속도지수이다.

또한 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험지수 산출식은 각각 식 (4-8) 및 식 (4-9)와 같이 제시하였다.

$$I_{FS} = I_{DP} \times I_{\Delta H_E} \quad (4-8)$$

$$I_{ES} = I_{DP} \times I_{DV} \quad (4-9)$$

위 식에서 I_{FS} 와 I_{ES} 는 인화성 고체의 화재위험지수와 폭발위험지수이고, I_{DP} 는 폭연점지수, $I_{\Delta H_E}$ 는 폭발열지수 그리고 I_{DV} 는 폭발속도지수이다.

3) 화재·폭발 위험지수 산출

제3장의 고찰에서와 같이 화재·폭발 위험지수를 각 서브지수의 합으로 산출하는 경우에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 각 서브지수의 등급분류와 등급점수 부여방법에 따라 화재·폭발 위험지수가 변화됨
- 위험지수에 미치는 각 서브지수의 영향을 고려하지 못함

따라서 이와 같은 문제점을 해소하는 방법으로, 화재·폭발 위험지수를 위에서와 같이 화재·폭발 가능성과 사고결과 크기의 매트릭스에 의해 위험성을 산출하는 방법이 보다 합리적으로 판단되므로, 위험성 산출 매트릭스 방법을 사용하여 인화성 액체 및 기체의 경우와 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수 산출식을 제안하였다.

(1) 인화성 액체 및 기체

인화성 액체 및 기체의 화재 위험성은 식 (4-6)과 같이 화재발생 가능성을 나타내는 인화성과 화재에 의한 사고결과인 복사열에 해당하는 연소열의 매트릭스로 나타낼 수 있었고, 폭발 위험성은 식 (4-7)과 같이 폭발발생 가능성을 나타내는 인화성과 폭발에 의한 사고결과인 과압을 형성하는 연소속도의 매트릭스로 나타낼 수 있었다.

따라서 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성은 화재 및 폭발 위험성에서와 같이 사고발생 가능성인 인화성과 사고결과인 연소열 및 연소속도의 매트릭스로 나타낼 수 있으므로, 화재·폭발 위험지수는 식 (4-10)과 같이 화재위험지수와 폭발위험지수의 합으로 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_{FELG} &= I_{FP,BP} \times (I_{\Delta H_C} + I_{BV}) & (4-10) \\
 &= (I_{FP,BP} \times I_{\Delta H_C}) + (I_{FP,BP} \times I_{BV}) \\
 &= I_{FLG} + I_{ELG}
 \end{aligned}$$

식 (4-10)에서 I_{FELG} 는 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수이다. 이 때, 각 서브지수는 5개 등급의 등급값으로, 인화성지수의 등급기준은 <표 3-15>, 연소열지수의 등급기준은 <표 3-17>과 같고, 연소속도지수의 등급기준은 <표 3-19>와 같다.

따라서 대상물질인 55개의 인화성 액체 및 기체에 대해 <표 3-16>의 인화성 등급과 <표 3-18>의 연소열 등급 그리고 <표 3-20>의 연소속도 등급을 사용하여 식 (4-6)에 의해 산출한 화재·폭발 위험지수의 값은 <표 4-5>와 같다. 이때, 각 서브지수의 등급산출을 위한 물리적 성질은 [부록 I]에 실었다.

<표 4-2> 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수

순번	인화성 물질	인화성 지수	연소열 지수	연소속도 지수	화재 위험지수	폭발 위험지수	위험 지수
1	수소	5	5	5	25	25	50
2	아세틸렌	5	4	5	20	25	45
3	에틸렌	5	4	4	20	20	40
4	프로핀	5	4	4	20	20	40
5	산화에틸렌	5	3	5	15	25	40
6	1-부텐	5	4	3	20	15	35

순번	인화성 물질	인화성 지수	연소열 지수	연소속도 지수	화재 위험지수	폭발 위험지수	위험 지수
7	프로필렌	5	4	3	20	15	35
8	1,3-부타디엔	5	4	3	20	15	35
9	1-펜텐	5	4	3	20	15	35
10	디메틸에테르	5	3	4	15	20	35
11	산화프로필렌	5	3	4	15	20	35
12	트리메틸아민	5	4	3	20	15	35
13	에탄	5	4	2	20	10	30
14	프로판	5	4	2	20	10	30
15	메탄	5	4	2	20	10	30
16	황화수소	5	2	4	10	20	30
17	아세트알데히드	5	3	3	15	15	30
18	노말부탄	5	4	2	20	10	30
19	트리에틸아민	4	4	3	16	12	28
20	아세트산비닐	4	3	4	12	16	28
21	염화비닐	5	2	3	10	15	25
22	디에틸에테르	5	3	2	15	10	25
23	이소프로필아민	5	3	2	15	10	25
24	아크릴로니이트릴	4	3	3	12	12	24
25	노말헵탄	4	4	2	16	8	24
26	시클로펜타디엔	4	4	2	16	8	24
27	알릴알코올	4	3	3	12	12	24
28	벤젠	4	4	2	16	8	24
29	노말헥산	4	4	2	16	8	24
30	옥탄	4	3	3	12	12	24
31	노말펜탄	4	4	2	16	8	24
32	프로피온알데히드	4	3	3	12	12	24
33	시클로펜탄	4	4	2	16	8	24
34	톨루엔	4	4	2	16	8	24
35	아세톤	4	3	3	12	12	24
36	아크롤레인	4	3	3	12	12	24

순번	인화성 물질	인화성 지수	연소열 지수	연소속도 지수	화재 위험지수	폭발 위험지수	위험 지수
37	메틸알콜	4	3	3	12	12	24
38	아세트나이트릴	4	3	3	12	12	24
39	시클로프로판	3	4	3	12	9	21
40	크실렌	3	4	3	12	9	21
41	스티렌	3	4	3	12	9	21
42	에틸렌이민	4	3	2	12	8	20
43	이황화탄소	4	2	3	8	12	20
44	이소프로필알콜	4	3	2	12	8	20
45	에틸알콜	4	3	2	12	8	20
46	아세트산에틸	4	3	2	12	8	20
47	노말디칸	3	4	2	12	6	18
48	노말부틸알콜	3	3	3	9	9	18
49	노말부틸 아크릴레이트	3	3	3	9	9	18
50	가솔린 (100-옥탄)	4	1	2	4	8	12
51	시클로hex산	4	1	2	4	8	12
52	hex사데칸	1	4	2	4	2	6
53	디페닐메탄	1	4	2	4	2	6
54	무수암모니아	1	3	2	3	2	5
55	일산화탄소	1	1	2	1	2	3

<표 4-2>에서와 같이 수소, 메탄, 에탄, 프로판 등 인화성이 높은 기체는 화재지수가 5×5등급을 나타내었고, 유기용매의 경우도 높은 화재 위험성을 나타내었다. 그러나 수소, 아세틸렌 등은 폭발 에너지가 크기 때문에 폭발지수가 높지만, 연소속도가 느린 메탄과 에탄 등은 낮은 폭발 위험성을 가졌으며, 이와 같은 결과는 일반적인 이론과 일치한다.

(2) 인화성 고체

인화성 고체의 화재 위험성은 식 (4-8)과 같이 화재발생 가능성을 나타내는 폭연점과 화재에 의한 사고결과인 복사열에 해당하는 폭발열의 매트릭스로 나타낼 수 있었고, 폭발 위험성은 식 (4-9)와 같이 폭발발생 가능성을 나타내는 폭연점과 폭발에 의한 사고결과인 과압을 형성하는 폭발속도의 매트릭스로 나타낼 수 있었다.

따라서 인화성 고체의 화재·폭발 위험성은 화재 및 폭발 위험성에서와 같이 사고발생 가능성인 인화성(폭연점)과 사고결과인 폭발열 및 폭발속도의 매트릭스로 나타낼 수 있으므로, 화재·폭발 위험지수는 식 (4-11)과 같이 화재위험지수와 폭발위험지수의 합으로 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_{FES} &= I_{DP} \times (I_{\Delta H_E} + I_{DV}) & (4-11) \\
 &= (I_{DP} \times I_{\Delta H_E}) + (I_{DP} \times I_{DV}) \\
 &= I_{FS} + I_{ES}
 \end{aligned}$$

여기서 I_{FES} 는 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수이고, 각 서브지수는 5개 등급의 등급값으로, 폭연점지수의 등급기준은 <표 3-21>, 폭발열지수의 등급기준 <표 3-22>와 같고, 폭발속도지수의 등급기준은 <표 3-23>과 같다.

따라서 대상물질인 27개의 인화성 고체에 대해 <표 3-24>의 폭연점 등급과 <표 3-25>의 폭발열 등급 그리고 <표 3-26>의 폭발속도 등급을 사용하여 식 (4-11)에 의해 산출한 화재·폭발 위험지수의 값은 <표 4-9>와 같다. 이때, 각 서브지수의 등급산출을 위한 물리적 성질은 [부록 II]에 실었다.

〈표 4-3〉 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수

순번	인화성 물질	폭연점 지수	폭발열 지수	폭굉속도 지수	화재 위험지수	폭발 위험지수	위험 지수
1	니트로마니트	5	5	5	25	25	50
2	니트로이소부틸 글리세롤 트리니트레이트	5	5	4	25	20	45
3	에틸렌디니트레 아민(EDNA)	5	4	4	20	20	40
4	테트릴	5	4	4	20	20	40
5	펜타에리트리톨테 트라니트레이트	4	5	5	20	20	40
6	폴리비닐질산염 (PVN)	5	4	4	20	20	40
7	디펜테리트리톨 헥사니트레이트	4	5	4	20	16	36
8	질산하이드라진	4	4	5	16	20	36
9	니트로글리콜	4	5	4	20	16	36
10	디에틸렌글리콜 디니트레이트	5	4	3	20	15	35
11	옥소젠	3	5	5	15	15	30
12	2,4,6,2',4',6'-헥사 니트로디페닐아민	3	4	4	12	12	24
13	2,4,6-트리니트로 크레졸	4	3	3	12	12	24
14	3-니트로-1,2,4- 트리아졸-5-원	3	3	4	9	12	21
15	트리아미노구아 니딘니트레이트	4	3	2	12	8	20
16	트리니트로 아니솔	3	3	3	9	9	18
17	헥사메틸렌트로 페폭사이드디아민	4	3	1	12	4	16
18	헥사니트로에탄	5	2	1	10	5	15

순번	인화성 물질	폭연점 지수	폭발열 지수	폭굉속도 지수	화재 위험지수	폭발 위험지수	위험 지수
19	메타디니트로벤젠	3	2	3	6	9	15
20	트라이나이트로 톨루엔	2	4	3	8	6	14
21	트리니트로아닐린	2	3	4	6	8	14
22	트리니트로 페녹시니트레이트	2	3	4	6	8	14
23	피크르산	2	3	4	6	8	14
24	암모늄피크레이트	2	2	4	4	8	12
25	1,3,5-트리아미노 -2,4,6-트리니트 로벤젠	1	3	4	3	4	7
26	에틸렌디아민 디니트레이트	1	3	3	3	3	6
27	아지화납	1	1	2	1	2	3

<표 4-3>에서와 같이 니트로화합물은 화재·폭발 위험성이 높고, 인화성 고체의 경우에는 화재 위험성과 폭발 위험성이 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 화재 위험성이 크면 폭발 위험성도 크고, 그 반대의 경우도 비슷한 경향을 나타내었다.

2. 주요 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류

1) 화재 및 폭발 위험성 등급분류

화학물질의 화재 및 폭발 위험지수를 인화성 액체 및 기체의 경우는 각각 식 (4-6) 및 식 (4-7)에 의해 산출하였고, 인화성 고체의 경우는 식 각각 (4-8) 및 식 (4-9)에 의해 산출하였다.

그리고 화학물질의 화재 및 폭발 위험성에 따라 고위험물질, 중위험물질 및

저위험물질로 구분하고, 고위험물질은 화재 또는 폭발 위험성이 매우 높은 물질, 중위험물질은 화재 또는 폭발 위험성이 보통인 물질 그리고 저위험물질은 화재 또는 폭발 위험성이 낮은 물질로 정의하였다.

또한 화재 및 폭발 위험지수를 <표 4-1>과 같이 매트릭스로 산출하는 경우에 각각의 위험성 등급은 <표 4-4>와 같이 구분하였다. 즉, 화재 또는 폭발 위험지수가 20점 이상은 고위험물질, 10점 이상에서 16점까지는 중위험물질, 그리고 1점에서 9점까지는 저위험물질로 구분하였다.

<표 4-4> 화재 및 폭발 위험성 등급분류 기준표

구분		사고영향				
		A	B	C	D	E
인화성 또는 폭발성	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

따라서 <표 4-4>의 위험성 등급분류 기준표에 따라 인화성 액체 및 기체의 경우에는 <표 4-2>를 사용하였고, 인화성 고체의 경우에는 <표 4-3>을 사용하여 주요 화학물질의 화재 및 폭발 위험성 등급을 분류하였으며, 그 결과는 <표 4-5> 및 <4-6>과 같다.

<표 4-5> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험성 등급

분류	화재 위험성	폭발 위험성
고위험	수소(25점), 메탄, 에탄, 프로판,	수소, 아세틸렌, 산화에틸렌(25

분류	화재 위험성	폭발 위험성
물질	노말부탄, 아세틸렌, 에틸렌, 프로핀, 1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 트리메틸아민(20점) (13종)	점), 에틸렌, 프로핀, 황화수소, 디에틸에테르, 산화프로필렌(20점) (8종)
중위험 물질	노말헵탄, 시클로펜타디엔, 벤젠, 노말헥산, 노말펜탄, 시클로펜탄, 톨루엔, 트리에틸아민(16점), 산화에틸렌, 디메틸에테르, 디에틸에테르, 산화프로필렌, 이소프로필아민, 아세트알데히드(15점), 아크릴로나이트릴, 알릴알코올, 옥탄, 프로피온알데히드, 아세톤, 아크롤레인, 메틸알콜, 시클로프로판, 에틸렌이민, 크실렌, 이소프로필알콜, 에틸알콜, 아세트산에틸, 노말디칸, 스티렌, 아세트나이트릴, 아세트산비닐(12점), 황화수소, 염화비닐(10점) (33종)	아세트산비닐(15점), 1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 염화비닐, 아세트알데히드, 디메틸아민(15점), 아크릴로나이트릴, 트리에틸아민, 알릴알코올, 옥탄, 프로피온알데히드, 아세톤, 이황화탄소, 아크롤레인, 메틸알콜, 아세트나이트릴(12점), 에탄, 프로판, 노말부탄, 디에틸에테르, 메탄, 이소프로필아민(10점) (24종)
저위험 물질	노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트(9점), 이황화탄소(8점), 시클로헥산, 가솔린(100-옥탄), 디페닐메탄, 헥사데칸(4점), 무수암모니아(3점), 일산화탄소(1점) (9종)	시클로프로판, 크실렌, 스티렌, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트(9점), 에틸렌이민, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 벤젠, 시클로헥산, 노말헥산, 노말펜탄, 시클로펜탄, 톨루엔, 이소프로필알콜, 가솔린(100-옥탄), 아세트산에틸, 에틸알콜(8점), 노말디칸(6점), 디페닐메탄, 헥사데칸, 무수암모니아, 일산화탄소(2점) (23종)

〈표 4-6〉 주요 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성 등급

분류	화재 위험성	폭발 위험성
고위험 물질	니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 니트로மை트(25점), 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜트리트, 폴리비닐질산염(PVN), 펜타에트리트리톨헥사니트레이트, 니트로글리콜, 디에틸렌글리콜디니트레이트(20점) (9종)	니트로மை트(25점), 니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜타에트리트리톨헥사니트레이트, 폴리비닐질산염(PVN), 질산하이드라진(20점) (7종)
중위험 물질	질산하이드라진(16점), 옥소겐(15점), 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 트리아미노구아니딘니트레이트, 2,4,6-트리니트로크레졸, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민(12점), 헥사니트로에탄(10점) (7종)	디펜테리트리톨헥사니트레이트, 니트로글리콜(16점), 옥소겐, 디에틸렌글리콜디니트레이트(15점), 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 2,4,6-트리니트로크레졸, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원(12점) (7종)
저위험 물질	3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원, 트리니트로아니솔(9점), TNT (트라이나이트로톨루엔)(8점), 메타디니트로벤젠, 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 피크르산(6점), 암모늄피크레이트(4점), 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠, 에틸렌디아민 디니트레이트(3점), 아지화납(1점) (11종)	트리니트로아니솔, 메타디니트로벤젠(9점), 트리아미노구아니딘니트레이트, 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 암모늄피크레이트, 피크르산(8점), TNT (트라이나이트로톨루엔)(6점), 헥사니트로에탄(5점), 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠(4점), 에틸렌디아민 디니트레이트(3점), 아지화납(2점) (13종)

2) 화재·폭발 위험성 등급분류

인화성 물질의 화재·폭발 위험성은 식 (4-10) 및 식 (4-11)에서와 같이 화재 위험성과 폭발 위험성을 동시에 고려하여야 하므로, 다음과 같이 등급분류 기준점수를 설정하는 방법이 있을 수 있다.

- (1안) 화재 및 폭발 위험성 등급 분류점수의 최고 및 최저 점수의 2배로 설정하는 방안
 - 분류점수 : 40점 이상은 고위험물질, 20점 이상에서 40점 미만까지는 중위험물질, 20점 미만은 저위험물질
 - 분류근거 : 중위험은 화재 및 폭발 위험성이 최소 중위험 이상
 - 문제점 : 대부분의 물질이 중위험물질로 구분되고, 화재 또는 폭발 위험성이 고 등급과 저 등급인 경우에도 중위험을 나타냄
- (2안) 화재 및 폭발 위험성 등급을 고려하여 설정하는 방안
 - 분류점수 : 40점 이상은 고위험물질, 25점 이상에서 40점 미만까지는 중위험물질, 25점 미만은 저위험물질
 - 분류근거 : 중위험 최소기준은 중위험 최고점과 저위험 최저점 이상
 - 문제점 : 화재 또는 폭발 위험성이 3등급 이상이고, 인화성이 4 등급인 경우에도 저위험을 나타냄

따라서 본 연구에서는 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급 분류기준을 다음과 같이 제안하였다.

- 고위험물질 : 화재·폭발 위험지수가 40점 이상인 물질
 - 중위험물질 : 화재·폭발 위험지수가 20점 이상이고, 40점 미만인 물질. 단, 20점 이상이고, 25점 미만은 중저위험물질
 - 저위험물질 : 화재·폭발 위험지수가 20점 미만인 물질
- 이와 같은 위험성 등급분류 기준에 따라 주요 인화성 물질의 화재·폭발 위험

성 등급을 분류하면 <표 4-7> 및 <표 4-8>과 같다. 이때, 55종의 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급은 고위험물질이 5종, 중위험물질이 41종, 그리고 저위험물질이 9종이었다. 또한 27종의 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급은 고위험물질이 6종, 중위험물질이 9종, 그리고 저위험물질이 12종이었다.

<표 4-7> 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급

분류	인화성 물질
고위험 물질	수소(50점), 아세틸렌(40점), 에틸렌, 산화에틸렌, 프로핀(40점) (5종)
중위험 물질	1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 디메틸에테르, 산화프로필렌, 트리메틸아민(35점), 메탄, 에탄, 프로판, 황화수소, 노말부탄, 아세트알데히드(30점), 트리에틸아민, 아세트산비닐(28점), 염화비닐, 디에틸에테르, 이소프로필아민(25점) (18종)
	아크릴로나이트릴, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 알릴알콜, 벤젠, 노말헥산, 옥탄, 노말펜탄, 프로피온알데히드, 시클로펜탄, 톨루엔, 아세톤, 아크롤레인, 메틸알콜, 아세토나이트릴(24점), 시클로프로판, 크실렌, 스티렌(21점), 에틸렌이민, 이황화탄소, 이소프로필알콜, 에틸알콜, 아세트산에틸(20점) (23종)
저위험 물질	노말디칸, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트(18점), 가솔린(100-옥탄), 시클로헥산(12점), 헥사데칸, 디페닐메탄(6점), 무수암모니아(5점), 일산화탄소(3점) (9종)

<표 4-8> 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급

분류	인화성 물질
고위험 물질	니트로மை트(50점), 트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트(45점), 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜타에트리트리톨헥사니트레

분류	인화성 물질
	이트, 폴리비닐질산염(PVN)(40점) (6종)
중위험 물질	디펜테리트리톨헥사니트레이트, 질산하이드라진, 니트로글리콜(36점), 디에틸렌글리콜디니트레이트(35점), 옥소젠(30점) (5종) 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 2,4,6-트리니트로크레졸(24점), 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원(21점), 트리아미노구아니딘니트레이트(20점) (4종)
저위험 물질	트리니트로아니솔(18점), 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민(16점), 헥사니트로에탄, 메타디니트로벤젠(15점), TNT(트라이나이트로톨루엔), 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 피크르산(14점), 암모늄피크레이트(12점), 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠(7점), 에틸렌디아민디니트레이트(6점), 아지화납(3점) (12종)

3. 주요 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류 비교·분석

<표 4-7> 및 <표 4-8>과 같이 주요 화학물질에 대해 본 연구에서 제안한 화재·폭발 위험성 등급분류 결과를 선행연구인 양혁승 등(2014년)의 연구결과와 이근원 등(2014년)의 연구결과(2014년)를 비교·분석하여 위험성 등급분류 결과의 타당성을 검증하였다.

1) 인화성 액체 및 기체

<표 4-9>는 인화성 액체 및 기체의 경우에 본 연구에서 얻은 화재·폭발 위험성 등급분류 결과를 다른 연구결과와 비교한 것이다.

〈표 4-9〉 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급 분류결과 비교

순번	인화성 물질	본 연구 ¹⁾	선행 연구 ¹⁾ (2014년)	이근원 등 ²⁾ (2014년)	비고
1	수소	고	고		
2	아세틸렌	고	고		
3	에틸렌	고	고		
4	프로핀	고[5(4+4)]	중[5(4+4)]		
5	산화에틸렌	고[5(3+5)]	중[5(2+4)]		
6	1-부텐	중	중		
7	프로필렌	중	중		
8	에탄	중	중		
9	프로판	중	중		
10	1,3-부타디엔	중	중		
11	1-펜텐	중	중		
12	트리메틸아민	중[5(4+3)]		중(5×2)	
13	아세트산비닐	중			
14	디메틸에테르	중[5(3+4)]	저[5(3+4)]		
15	메탄	중[5(4+2)]	저[5(5+2)]		
16	산화프로필렌	중[5(3+4)]	저[5(3+4)]	고(5×5)	
17	황화수소	중[5(2+4)]	저[5(2+4)]		
18	노말부탄	중[5(4+2)]	저[5(4+2)]		
19	트리에틸아민	중[4(4+3)]	저[4(4+3)]	저(4×2)	
20	염화비닐	중[5(2+3)]	저[5(2+3)]		
21	아세트알데히드	중[5(3+3)]	저[5(2+3)]		
22	디에틸에테르	중[5(3+2)]	저[5(3+2)]	중(5×2)	
23	이소프로필아민	중[5(3+2)]	저[5(3+2)]		
24	아크릴로나이트릴	중저[4(3+3)]	중[5(3+3)]	고(4×5)	
25	노말헵탄	중저	저		
26	시클로펜타디엔	중저	저		
27	알릴알코올	중저	저		
28	벤젠	중저	저		

순번	인화성 물질	본 연구 ¹⁾	선행 연구 ¹⁾ (2014년)	이근원 등 ²⁾ (2014년)	비고
29	노말헥산	중저[4(4+2)]	저	저(4×1)	
30	옥탄	중저	저		
31	노말펜탄	중저	저		
32	프로피온알데히드	중저	저		
33	시클로펜탄	중저	저		
34	톨루엔	중저	저		
35	아세톤	중저[4(3+3)]	저[4(3+3)]	중(4×4)	
36	시클로프로판	중저	중		
37	크실렌	중저[3(4+3)]	저[3(4+3)]	저(4×2)	
38	에틸렌이민	중저[4(3+2)]	저[4(3+2)]	고(4×5)	
39	이황화탄소	중저	중		
40	아크롤레인	중저	저		
41	이소프로필알콜	중저	저		
42	에틸알콜	중저[4(3+2)]	저[4(3+2)]	중(4×4)	
43	메틸알콜	중저[4(2+3)]	저[4(2+3)]	중(4×4)	
44	아세트산에틸	중저[4(2+2)]	저[4(2+2)]	중(4×4)	
45	아세트나이트릴	중저			
46	스티렌	중저			
47	노말부틸알콜	저			
48	노말부틸아크릴레이트	저			
49	노말디칸	저	저		
50	가솔린(100-옥탄)	저	저		
51	시클로헥산	저	저		
52	헥사데칸	저	저		
53	디페닐메탄	저	저		
54	무수암모니아	저	저		
55	일산화탄소	저	저		

¹⁾ ()은 5×5 위험성 매트릭스에서 인화성 등급(연소열 등급 + 연소속도 등급)을 나타냄

²⁾ ()은 5×6 위험성 매트릭스에서 화재지수×에너지 방출수준 등급을 나타냄

<표 4-15>로부터 양혁승 등의 선행 연구결과(2014년)와 비교·분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 동일한 위험지수에서 선행연구(2014년)의 경우는 임의로 위험등급을 구분하여 본 연구결과와 다소 차이가 있음. 이것은 선행연구의 위험등급 구분 점수가 낮게 설정하였기 때문으로 판단됨
- 즉, 본 연구결과가 고위험의 경우 프로핀은 인화성이 5등급이고, 연소열과 연소속도가 4등급이나, 선행연구에서는 중위험으로 구분하였음
- 중위험의 경우 디메틸에테르, 산화프로필렌, 황화수소, 노말부탄, 트리에틸아민, 염화비닐, 디에틸에테르, 이소프로필아민, 아크릴로나이트릴, 에틸렌이민, 에틸알콜, 아세트산에틸 등은 본 연구결과보다 전반적으로 다소 낮은 위험성 등급을 나타내었음. 즉, 선행연구에서는 70점 미만을 저위험으로 구분하여 60점 후반인 물질이 저위험으로 분류되었음
- 본 연구에서 시클로프로판과 이황화탄소를 제외한 중저위험은 선행연구에서 모두 저위험으로 분류하였음
- 저위험은 두 연구결과가 대부분 일치하였음

또한 이근원 등의 연구결과(2014년)와 비교·분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 인화성은 거의 동일함
- 이근원 등(2014년)은 <표 4-10>과 같이 화재지수와 에너지 방출수준으로 위험성 등급을 평가한 5×6 매트릭스에서 3등급인 경우에도 고위험으로 평가하여 전반적으로 본 연구결과보다 위험등급이 다소 높음. 즉, 본 연구결과가 중위험인 산화프로필렌, 중저위험인 아크릴로나이트릴과 에틸렌이민이 고위험임
- 그러나 본 연구에서 중위험인 트리에틸아민은 저위험임

〈표 4-10〉 이근원 등(2014년)의 위험성 등급분류 기준표

구 분		화재지수 (F)				
		1	2	3	4	5
에너지 방출수 준(E)	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

2) 인화성 고체

〈표 4-11〉은 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급분류를 선행 연구결과인 양혁승 등(2014년) 연구결과와 비교한 것이다.

〈표 4-11〉 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급 분류결과 비교

순번	인화성 물질	본 연구	선행 연구 (2014)	비고
1	니트로마니트	고	고	
2	니트로이소부틸글리세롤트리니트레이트	고	고	
3	에틸렌디니트레아민(EDNA)	고	고	
4	테트릴	고	고	
5	펜타에리트리톨테트라니트레이트	고	고	
6	폴리비닐질산염(PVN)	고	고	
7	디펜테리트리톨헥사니트레이트	중	중	
8	질산하이드라진	중	중	
9	니트로글리콜	중	중	

순번	인화성 물질	본 연구	선행 연구 (2014)	비고
10	디에틸렌글리콜디니트레이트	중	중	
11	옥소젠	중	고	
12	2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민	중저	중	
13	2,4,6-트리니트로크레졸	중저	저	
14	3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원	중저	저	
15	트리아미노구아니딘니트레이트	중저	중	
16	트리니트로아니솔	저	저	
17	헥사메틸렌트로페폭사이드디아민	저	저	
18	헥사니트로에탄	저	저	
19	메타디니트로벤젠	저	저	
20	트라이나이트로톨루엔	저	저	
21	트리니트로아닐린	저	저	
22	트리니트로페녹시니트레이트	저	저	
23	피크르산	저	저	
24	암모늄피크레이트	저	저	
25	1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠	저	저	
26	에틸렌디아민디니트레이트	저	저	
27	아지화납	저	저	

<표 4-11>에서와 같이 인화성 고체의 경우 양혁승 등(2014년)의 선행연구 결과와 비교·분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 본 연구결과와 양혁승 등(2014년)의 연구결과의 위험성 등급분류는 거의 일치하였음
- <표 3-15>에서와 같이 선행연구에서 5등급의 생성열과 4등급의 VEG를 고려하여 27개 물질 중에서 가장 높은 화재·폭발 위험성을 가진 옥소젠은 이를 고려하지 않은 본 연구에서는 중위험을 나타냄

- 본 연구결과에서 고위험과 저위험으로 분류된 물질은 선행연구에서도 동일한 위험등급을 나타냄
- 본 연구에서 중저위험물질은 선행연구에서 중위험 또는 저위험을 나타냄

3) 화재·폭발 위험성 비교·분석 결과

앞에서와 같이 인화성 물질의 화재·폭발 위험성 등급에 대한 타 연구결과와 비교·분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 본 연구에서 사용된 인화성 등급은 양혁승 등(2014년)의 연구에서와 동일하고, 이근원 등(2014년)이 사용한 화재지수와도 일치하므로, 인화성 등급 분류는 타당성이 있음
- 양혁승 등(2014년)이 제시한 위험등급 분류기준은 임의로 설정한 점수이므로, 이근원 등(2014년)과 같이 본 연구에서 제시한 위험성 매트릭스 분류방법이 보다 타당성이 있다고 판단됨
- 이근원 등(2014년)의 등급분류 기준이 일반적인 위험도 산출방법보다 다소 높으므로, 본 연구에서 제시한 화재 및 폭발 위험성 산출기준은 타당성이 있음
- 또한 본 연구에서 제시한 화재 및 폭발 위험지수로부터 화재·폭발 위험지수를 산출하는 방법은 타당성이 있음

그러나 현재 연소속도 등에 대한 화학물질의 물리적 성질자료가 충분하지 못하여 서브지수의 등급분류 등의 결과에 대한 신뢰성에 한계가 있을 수 있다.

따라서 보다 많은 화학물질에 대해 객관적이고, 정확한 위험성 등급분류를 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구와 검토가 필요하다.

- 화재 및 폭발 위험성 산출에서 위험성 인자로 사용된 연소열 또는 폭발열과 연소속도 또는 폭발속도의 적절성 여부 또는 추가 고려인자에 대한

검토

- 화학물질의 위험성 등급분류에서 중저위험은 중위험 또는 저위험으로 분류 여부에 대한 검토
- 화재·폭발 위험지수에 의한 위험성 등급을 분류하지 않고, 화재 또는 폭발 위험지수로 구분하는 방안 검토
- 또는 화재·폭발 위험지수가 고위험과 저위험인 경우는 고위험물질과 저위험물질로 위험성 등급을 분류하고, 중위험인 경우는 화재 또는 폭발 위험성 등급으로 세분화 하는 방안 검토
- Clustering 방법, PCA(Principal Component Analysis) 등의 수학적 모델을 통한 주요 영향인자 도출 및 등급분류에 대한 재검증 등

또한 이를 위해서는 화재·폭발 위험성 등급분류에 사용된 연소열, 연소속도 등의 화학물질의 물리적 성질에 대한 자료 확보 등이 필요하다.

V. 화학물질의 위험등급에 따른 제도개선 방안

화학물질을 안전하게 관리하여 사고를 예방하기 위해 제4장에서 얻은 연구 결과인 화학물질의 물리적 위험성 산출방법과 위험성 등급분류 결과는 관련 법령 개정, 사업장의 위험등급별 안전관리, 진단주기 차등화 등의 제도개선에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

1. 제도개선의 필요성

현재 운영 중인 화학물질의 관리와 관련된 제도 개선의 필요성은 다음과 같다.

- 산업안전보건법 제23조 제1항에는 폭발성·발화성 및 인화성 물질 등에 의한 위험을 예방하기 위하여 필요한 조치를 취하도록 되어 있음
- 이에 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 1]에는 위험물질을 7종류로 구분하고 있으며, [별표 9]는 구분된 위험물질군 또는 물질별 기준량을 정하여 관리하도록 규정하고 있음
- 그러나 화재나 폭발을 일으키는 물질인 경우 물질별로 위험 정도가 다르기 때문에 이에 대한 평가방법이 미흡하여 산업안전보건법상의 규제수준을 조정하여 적절히 관리되도록 할 필요가 있음

2. 제도개선 방안

화학물질을 안전하게 관리하기 위한 제도개선 방안으로, 다음과 같이 관련 법률 개정과 위험등급에 따른 차등관리 등을 제안한다.

1) 제안한 위험등급 분류방법을 산업안전보건에 관한 규칙 [별표 1]에 추가

- PSM 대상물질, 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 1]에서 정한 위험물질, 환경부 사고대비물질 중 화재·폭발 사고발생의 우려가 있는 위험물질을 대상으로, 본 연구에서 제안한 위험등급을 구분하는 방법을 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 1]에 추가하는 것을 제안함
- 순수 인화성 물질의 화재 또는 폭발 위험은 각 위험지수가 20점 이상은 고위험물질, 10점 이상에서 16점까지는 중위험물질, 그리고 1점에서 9점까지는 저위험물질로 구분하여 고위험, 중위험, 저위험의 3등급으로 분류할 것을 제안함
- 순수 인화성 물질의 화재·폭발 위험성은 위험지수가 40점 이상은 고위험물질, 20점 이상에서 40점 미만은 중위험물질(20점 이상에서 25점 미만은 중저위험물질), 그리고 20점 미만은 저위험물질로 구분할 것을 제안함
- 위와 같은 위험등급 분류에 따라 법적 대상물질인 50여종의 인화성 액체 및 기체 중에서 고위험물질은 수소, 아세틸렌, 에틸렌, 프로핀 3종이고, 중위험물질은 1-부텐, 프로필렌, 에탄, 프로판 등 38종, 저위험물질은 노말디칸, 아세트산에틸, 가솔린, 시클로헥산 등 8종이었으며, 27종의 인화성 고체의 경우는 고위험물질이 니트로마이트, 트라이소부틸글리세롤트리니트레이트, 에틸렌디니트로아민 등 6종, 중위험물질은 디펜테리트로헥사니트레이트, 질산하이드라진, 니트로글리콜 등 9종, 그리고 저위험물질에는 트리니트로아니솔, 헥사메틸렌프로펙폭사이드디아민, 헥사니트로에탄 등 12종이 해당함

2) 진단주기 차등화 방안

- 위험물질군에 속하는 화학물질을 관리하기 위해 2015년도부터 시행중인

환경부의 장외영향평가제도에서 안전관리 순위를 결정하는 방식을 고려하여 안전진단주기를 고위험물질 취급사업장은 2년, 중위험물질 취급사업장은 4년, 그리고 저위험물질 취급사업장은 6년으로 실시하는 것을 제안함

- 그러나 PSM 대상물질은 PSM 제도의 검사주기와 중복될 수 있기 때문에 이러한 경우에는 진단주기 차등화 방안에서 제외하는 것을 고려할 필요가 있음

3) 화학물질 취급사업장을 위험등급별 관리방안

- 제안된 화재·폭발 위험성 등급분류 방법을 사용하여 화학물질 취급사업장을 고위험, 중위험, 저위험 사업장으로 구분하여 관리하는 방안을 제안함
- 이때, 중위험 사업장은 화재 또는 폭발 위험성 등급으로 구분하여 관리할 필요가 있음. 즉, 화재 위험성이 높거나, 폭발 위험성이 높은 사업장으로 구분하여 집중적으로 관리하는 방안을 모색할 필요가 있음

VI. 결 론

본 연구에서는 국내·외 화학물질 분류체계와 위험성 등급분류에 대한 조사·분석과 2014년에 안전보건공단에서 수행한 「화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구」 결과를 분석하였다. 그리고 선행 연구결과에서 나타난 문제점을 해결하기 위하여 위험성 매트릭스 산출방법을 사용하여 인화성 액체 및 기체와 인화성 고체에 대한 화재·폭발 위험성 산출식을 제안하였으며, 이를 바탕으로 주요 화학물질에 대해 위험성 등급분류를 실시하고, 유사 연구결과와 비교·분석하여 검증하였다. 또한 본 연구에서 제시한 화재·폭발 위험성 산출방안과 등급분류 결과를 활용한 사업장의 위험물질 관리방안과 제도개선 방안을 제시하였다.

이와 같은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선행연구(2014년) 분석결과

- (1) 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성은 생성열과 자연발화온도와 유의성이 적으며, 인화성, 연소열 및 연소속도에 크게 영향을 받는다. 이때, 55종 물질의 인화성, 연소열 및 연소속도에 대해 1~5 등급으로 분류하였다.
- (2) 인화성 고체의 화재·폭발 위험성은 생성열과 폭발 전·후 몰수 변화와 유의성이 적으며, 폭연점, 폭발열 및 폭발속도에 크게 영향을 받는다. 이때, 27종 물질의 폭연점, 폭발열 및 폭발속도에 대해 1~5 등급으로 분류하였다.

2. 화학물질의 화재·폭발 위험성 산출 모델식(안)

- (1) 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수는 다음과 같이 화재위험지수와 폭발위험지수의 합으로 산출하고, 화재위험지수와 폭발위험지수는 각각 인화점지수와 연소열지수, 그리고 인화점지수와 연소속도지수의 곱으로 산출한다.

$$\begin{aligned} I_{FELG} &= I_{FLG} + I_{ELG} \\ &= (I_{FP,BP} \times I_{\Delta H_C}) + (I_{FP,BP} \times I_{BV}) \\ &= I_{FP,BP} \times (I_{\Delta H_C} + I_{BV}) \end{aligned}$$

위 식에서 I_{FELG} 는 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험지수, I_{FLG} 는 화재위험지수, I_{ELG} 는 폭발위험지수, $I_{FP,BP}$ 는 인화성지수, $I_{\Delta H_C}$ 는 연소열지수, 그리고 I_{BV} 는 연소속도지수이다.

- (2) 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수는 다음과 같이 화재위험지수와 폭발위험지수의 합으로 산출하고, 화재위험지수와 폭발위험지수는 각각 폭연점지수와 폭발열지수 및 폭연점지수와 폭굉속도지수의 곱으로 산출한다.

$$\begin{aligned} I_{FES} &= I_{FS} + I_{ES} \\ &= (I_{DP} \times I_{\Delta H_E}) + (I_{DP} \times I_{DV}) \\ &= I_{DP} \times (I_{\Delta H_E} + I_{DV}) \end{aligned}$$

위 식에서 I_{FES} 는 인화성 고체의 화재·폭발 위험지수, I_{FS} 는 화재위험지수, I_{ES} 는 폭발위험지수, I_{DP} 는 폭연점지수, $I_{\Delta H_E}$ 는 폭발열지수, 그리고 I_{DV} 는 폭굉속도지수이다.

3. 주요 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류(안)

- (1) 순수 인화성 물질의 화재 및 폭발 위험지수가 20점 이상은 고위험물질, 10점 이상에서 16점까지는 중위험물질, 그리고 1점에서 9점까지는 저위험 물질로 위험등급을 분류하여 본 연구에서 제안한 결과는 다음과 같다.

〈표 6-1〉 주요 인화성 액체 및 기체의 화재 및 폭발 위험성 등급분류 결과

분류	화재 위험성	폭발 위험성
고위험 물질	수소, 메탄, 에탄, 프로판, 노말부탄, 아세틸렌, 에틸렌, 프로핀, 1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 트리메틸아민 (13종)	수소, 아세틸렌, 산화에틸렌(25점), 에틸렌, 프로핀, 황화수소, 디에틸에테르, 산화프로필렌(20점) (8종)
중위험 물질	노말헵탄, 시클로펜타디엔, 벤젠, 노말헥산, 노말펜탄, 시클로펜탄, 톨루엔, 트리에틸아민, 산화에틸렌, 디메틸에테르, 디에틸에테르, 산화프로필렌, 이소프로필아민, 아세트알데히드, 아크릴로나이트릴, 알릴알코올, 옥탄, 프로피온알데히드, 아세톤, 아크롤레인, 메틸알콜, 시클로프로판, 에틸렌이민, 크실렌, 이소프로필알콜, 에틸알콜, 아세트산에틸, 노말디칸, 스티렌, 아세토나이트릴, 아세트산비닐, 황화수소, 염화비닐 (33종)	아세트산비닐, 1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 염화비닐, 아세트알데히드, 디메틸아민, 아크릴로나이트릴, 트리에틸아민, 알릴알코올, 옥탄, 프로피온알데히드, 아세톤, 이황화탄소, 아크롤레인, 메틸알콜, 아세토나이트릴, 에탄, 프로판, 노말부탄, 디에틸에테르, 메탄, 이소프로필아민 (24종)
저위험 물질	이황화탄소, 시클로헥산, 가솔린, 디페닐메탄, 헥사데칸, 무수암모니아, 일산화탄소 (7종)	시클로프로판, 크실렌, 스티렌, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트, 에틸렌이민, 노말헵탄,

분류	화재 위험성	폭발 위험성
		시클로펜타디엔, 벤젠, 시클로헥산, 노말헥산, 노말펜탄, 시클로펜탄, 톨루엔, 이소프로필알콜, 가솔린(100-옥탄), 아세트산에틸, 에틸알콜, 노말디칸, 디페닐메탄, 헥사데칸, 무수암모니아, 일산화탄소 (23종)

〈표 6-2〉 주요 인화성 고체의 화재 및 폭발 위험성 등급분류 결과

분류	화재 위험성	폭발 위험성
고위험 물질	니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 니트로마이트, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜트리트, 폴리비닐질산염(PVN), 펜타에트리트리톨헥사니트레이트, 니트로글리콜, 디에틸렌글리콜 디니트레이트 (9종)	니트로마이트, 니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜타에트리트리톨헥사니트레이트, 폴리비닐질산염(PVN), 질산하이드라진 (7종)
중위험 물질	질산하이드라진), 옥소겐, 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 트리아미노구아니딘니트레이트, 2,4,6-트리니트로크레졸, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 헥사니트로에탄 (7종)	디펜테리트리톨헥사니트레이트, 니트로글리콜, 옥소겐, 디에틸렌글리콜디니트레이트, 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 2,4,6-트리니트로크레졸, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원 (7종)
저위험 물질	3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원, 트리니트로아니솔, TNT(트라이나이트로톨루엔), 메타디니트로벤젠, 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 피크르산, 암모늄피크레이트, 1,3,5-	트리니트로아니솔, 메타디니트로벤젠, 트리아미노구아니딘니트레이트, 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 암모늄피크레이트, 피크르산, TNT (트라이나이트로톨루엔), 헥사니트로에

분류	화재 위험성	폭발 위험성
	트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠, 에틸렌디아민 디니트레이트, 아지화납 (11종)	탄, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 1,3,5-트리아미노-2, 4,6-트리니트로벤젠, 에틸렌디아민 디니트레이트, 아지화납 (11종)

(2) 순수 인화성 물질의 화재·폭발 위험지수가 40점 이상인 경우는 고위험물질, 20점 이상이고, 40점 미만인 경우는 중위험물질(20점 이상이고, 25점 미만은 중저위험물질), 그리고 20점 미만인 경우는 저위험물질로 위험등급을 분류한 결과는 다음과 같다.

〈표 6-3〉 주요 인화성 액체 및 기체의 화재·폭발 위험성 등급분류 결과

분류	인화성 물질
고위험 물질	수소, 아세틸렌, 에틸렌, 산화에틸렌, 프로핀 (5종)
중위험 물질	1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 디메틸에테르, 산화프로필렌, 트리메틸아민, 메탄, 에탄, 프로판, 황화수소, 노말부탄, 아세트알데히드, 트리에틸아민, 아세트산비닐, 염화비닐, 디에틸에테르, 이소프로필아민 (18종)
	아크릴로나이트릴, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 알릴알콜, 벤젠, 노말헥산, 옥탄, 노말펜탄, 프로피온알데히드, 시클로펜탄, 톨루엔, 아세톤, 아크롤레인, 메틸알콜, 아세트나이트릴, 시클로프로판, 크실렌, 스티렌, 에틸렌이민, 이황화탄소, 이소프로필알콜, 에틸알콜, 아세트산에틸 (23종)
저위험 물질	노말디칸, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트, 가솔린(100-옥탄), 시클로헥산, 헥사데칸, 디페닐메탄, 무수암모니아, 일산화탄소 (9종)

〈표 6-4〉 주요 인화성 고체의 화재·폭발 위험성 등급분류 결과

분류	인화성 물질
고위험 물질	니트로마이트, 트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜타에트리트리톨헥사니트레이트, 폴리비닐질산염(PVN) (6종)
중위험 물질	디펜테리트리톨헥사니트레이트, 질산하이드라진, 니트로글리콜, 디에틸렌글리콜디니트레이트, 옥소겐 (5종) 2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민, 2,4,6-트리니트로크레졸, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원, 트리아미노구아니딘니트레이트 (4종)
저위험 물질	트리니트로아니솔, 헥사메틸렌트로페폭사이드디아민, 헥사니트로에탄, 메타디니트로벤젠, TNT(트라이나이트로톨루엔), 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 피크르산, 암모늄피크레이트, 1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠, 에틸렌디아민디니트레이트, 아지화납 (12종)

4. 화학물질의 위험등급에 따른 제도개선 방안

본 연구에서 제안한 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류 방법 및 결과를 적용하여 화학물질을 안전하게 관리함으로써 사고를 예방하기 위해서는 다음과 같이 관련 법률 개정과 위험등급에 따른 차등관리 등의 제도개선 방안을 제안한다.

- (1) PSM 대상물질, 산업안전보건기준에 관한 규칙[별표 1]에서 정한 위험물질, 환경부 사고대비물질 중 화재·폭발 사고발생의 우려가 있는 위험물질을 대상으로, 본 연구에서 제안한 위험등급을 구분하는 방법을 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표 1]에 추가하는 것을 제안한다.

- (2) 진단주기 차등화 방안으로, 위험물질군에 속하는 화학물질을 관리하기 위해 2015년도부터 시행중인 환경부의 장외영향평가제도에서 안전관리 순위를 결정하는 방식을 고려하여 안전진단주기를 고위험물질 취급사업장은 2년, 중위험물질 취급사업장은 4년, 그리고 저위험물질 취급사업장은 6년으로 실시하는 것을 제안한다. 단, PSM 대상물질은 PSM 제도의 검사주기와 중복될 수 있기 때문에 이러한 경우에는 진단주기 차등화 방안에서 제외하는 것을 고려할 필요가 있다.
- (3) 화학물질 취급사업장을 위험등급별로 관리방안으로, 제안된 화재·폭발 위험성 등급분류 방법을 사용하여 화학물질 취급사업장을 고위험, 중위험, 저위험 사업장으로 구분하여 관리하는 방안을 제안한다. 이때, 중위험 사업장은 화재 또는 폭발 위험성 등급으로 구분하고, 화재 또는 폭발 위험성이 높은 사업장은 집중적으로 관리하는 방안을 모색할 필요가 있다.

5. 향후 추가적인 연구·검토 필요사항

본 연구에서 제안한 화학물질의 화재·폭발 위험성 등급분류 방법을 적용하여 화학물질을 고, 중, 저 위험등급으로 분류하여 체계적으로 관리함으로써 사고 예방에 기여할 것으로 판단된다.

그러나 현재 연소속도 등에 대한 화학물질의 물리적 성질자료가 충분하지 못하여 서브지수의 등급분류 등의 결과에 대한 신뢰성에 한계가 있을 수 있다.

따라서 보다 많은 화학물질에 대해 객관적이고, 정확한 위험성 등급분류를 위해서는 앞으로 다음과 같은 추가적인 연구 또는 검토가 필요하다.

- 화재 및 폭발 위험성 산출에서 위험성 인자로 사용된 연소열 또는 폭발열과 연소속도 또는 폭발속도의 적절성 여부 또는 추가 고려인자에 대한 검토

- 화학물질의 위험성 등급분류에서 중저위험은 중위험 또는 저위험으로 분류 여부에 대한 검토
- 화재·폭발 위험지수에 의한 위험성 등급을 분류하지 않고, 화재 또는 폭발 위험지수로 구분하는 방안 검토
- 또는 화재·폭발 위험지수가 고위험과 저위험인 경우는 고위험물질과 저위험물질로 위험성 등급을 분류하고, 중위험인 경우는 화재 또는 폭발 위험성 등급으로 세분화 하는 방안 검토
- Clustering 방법, PCA(Principal Component Analysis) 등의 수학적 모델을 통한 주요 영향인자 도출 및 등급분류에 대한 재검증 등

또한 이를 위해서는 화재·폭발 위험성 등급분류에 사용된 연소열, 연소속도 등의 물리적 성질에 대한 자료 확보 등이 필요하다.

기 호 설 명

AIT	Autoignition Temperature
ARC	Accelerating Calorimetry
ASTM	American Society for Testing Materials
CEI	Chemical Exposure Index
COF	Consequence of Damage
DSC	Differential Scanning Calorimetry
DTA	Differential Thermal Analysis
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines for Air Contaminants
F&EI	Fire & Explosion Index
GHS	Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
IPD	Instantaneous Power Density
I_{AIT}	Risk index of AIT
I_{BV}	Risk index of burning velocity
I_{CI}	Chemical inherent safety index
I_{COR}	Corrosiveness subindex
I_{DP}	Risk index of deflagration point
I_{DV}	Risk index of detonation velocity
I_{ELG}	Explosion risk index of flammable liquid and gas

I_{ES}	Explosion risk index of flammable solid
I_{EX}	Explosiveness subindex
I_{EQ}	Equipment safety subindex
I_{FL}	Flammability subindex
I_{FELG}	Fire & Explosion risk index of flammable liquid and gas
I_{FES}	Fire & Explosion risk index of flammable solid
$I_{FP,BP}$	Risk index of flammable point and boiling point
I_{FLG}	Fire risk index of flammable liquid and gas
I_{FS}	Fire risk index of flammable solid
I_{INT}	Chemical interaction subindex
I_I	Inventory subindex
I_{LFL}	Risk index of LFL
I_{PI}	Process inherent safety index
I_P	Process pressure subindex
$I_{P_{\max}}$	Risk index of maximum explosion pressure
I_{RHM}	Reaction heat subindex for the main reaction
I_{RS}	Reaction heat subindex for the side reaction
I_{ST}	Safe process structure subindex
I_T	Process temperature subindex
I_{TI}	Total inherent safety index
I_{TOX}	Toxic exposure subindex

$I_{V.E.G}$	Risk index of volume of explosion gases
$I_{\Delta H_E}$	Risk index of heat of explosion
$I_{\Delta H_C}$	Risk index of decomposition enthalpy or heat of reaction
$I_{\Delta H_f}$	Risk index of heat of formation
K_g	Deflagration index of gas
K_{st}	Deflagration index of dust
LFL	Lower Flammable Limit
LOF	Likelihood of Failure
NFPA	National Fire Protection Association
Nf	Fire value
Nh	Health value
Nr	Reactivity value
PSM	Process Safety Management
RTDG	Recommendation on the Transport of Dangerous Goods
UFL	Upper Flammable Limit
VEG	Volume of Explosion Gases

참 고 문 헌

- [1] 이영순 외, 공정안전관리제도 적용대상 기준 합리화방안에 관한 연구, 산업 안전보건연구원, 2008
- [2] 이영순 외, PSM제도 적용대상물질 확대방안 등에 대한 연구, 산업안전보건연구원, 2011
- [3] 박달재 외, 불산 등 유해물질의 위험성 조사 및 PSM 제도 등 규제강화에 관한 연구, 2013
- [4] 김태옥 외, 화학사고 예방을 위한 공정안전관리(PSM)제도 개선방안 마련, 산업안전보건연구원, 2014
- [5] 양혁승 외, 화학물질의 물리적 위험성에 따른 등급 분류에 관한 연구, 산업안전보건연구원, 2014
- [6] 이근원 외, 화학물질 혼합위험성 결정을 위한 반응성 매트릭스 개발 (I), 산업안전보건연구원, 2014
- [7] 이권섭 외, GHS 화학물질 분류기준과 분류결과의 비교 및 화학물질 정보자료의 활용방법 연구, *한국산업위생학회지*, 2008
- [8] 한국소방검정공사, GHS에 대응한 화학물질분류 및 표지정보의 제공, 2007
- [9] 김태옥 외, 화공양론, 동명사, 2007
- [9] NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2012
- [10] UN, Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS), 4th ed., 2011

- [11] Anna-Mari Heikkilä, "Inherent Safety in Process Plant Design An Index-Based Approach", Ph. D. Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, 1999
- [12] E. Salzano and A. D. Benedetto, "Inherently Safe indexes for Explosions in the Process Industry", Ernesto Salzano/Revista de Ingenieríapp. pp. 73-78, 2012
- [13] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, third edition, National Fire Protection Association & Society of Fire Protection Engineers, 2002
- [14] T. C. Hofelich, B. A. Prine, and N. E. Scheffler, "A Quantitative Approach to Determination of NFPA Reactivity Hazard Rating Parameters", Process Safety Progress, Vol.16, No.3, pp. 121-125, 1997
- [15] V.H. Carreto-Vázquez, I. Hernández, D. Ng, W.J. Rogers, M.S. Mannan, "Inclusion of pressure hazards into NFPA 704 instability rating system", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 23, pp. 30-38, 2010
- [16] NFPA 68, Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting, 2007 Edition, NFPA
- [17] D. Crowl, Understanding explosion, 1999
- [18] GHS Classification Guidance for Enterprises, Ministry of Economy, Trade and Industry, 2009
- [19] NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2007 edition, NFPA
- [20] C.B. Etowa, P.R. Amyotte., M.J. Pegg, and F.I. Khan,

"Quantification of inherent safety aspects of the Dow indices",
Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 15, pp.
477-487, 2002

- [21] Sanjeev R. SARAF, Molecular characterization of energetic materials, Ph. D. Thesis, Texas A&M University, 2003

부 록

【부록 1】 주요 인화성 액체 및 기체의 물리적 성질

【부록 2】 주요 인화성 고체의 물리적 성질

【부록 1】 주요 인화성 액체 및 기체의 물리적 성질

순 번	인화성 물질	끓는점 (°C)	연소열 (MJ/kg)	인화점 (°C)	연소속도 (cm/s)
1	아세틸렌	-83.33	-49.98	-17.8	166
2	에틸렌	-103.8	-50.39	-136.1	80
3	수소	-252.2	-142.92	Gas	312
4	1-부텐	-6.11	-48.55	Gas	51
5	프로필렌	-47.22	-49.01	-107	51
6	프로핀	-23.2	-46.16	-51	82
7	아크릴로나이트릴	77.22	-33.04	0	50
8	이황화탄소	46.11	-14.48	-30	58
9	에탄	-89.44	-55.71	Gas	47
10	산화에틸렌	10.56	-26.71	-17.78	108
11	프로판	-42.22	-50.45	-104.4	46
12	1,3-부타디엔	-4.5	-44.12	-76	64
13	1-펜텐	30	-48.17	-28	50
14	시클로프로판	-31.48	-49.7	41.67	56
15	에틸렌이민	55.56	-36.82	-28.89	46
16	황화수소	-60	-16.55	Gas	83
17	염화비닐	-13.89	-18.9	-78	52
18	크실렌	144.4	-42.94	27.22	52
19	노말부탄	-0.5	-49.53	-60	45
20	노말헵탄	98.4	-44.59	-4	46
21	디메틸에테르	-24	-31.3	-41	84
22	시클로펜타디엔	42	-44.78	-46	46
23	아세트알데히드	21.11	-27.1	-38.89	52
24	아크롤레인	51.67	-29	-26.11	66
25	알릴알코올	96.67	-31.9	21.11	52
26	벤젠	80	-41.37	-11.11	48
27	시클로헥산	81.67	-4.71	-20	46
28	디에틸에테르	35	-36.85	-45	47
29	노말헥산	68.89	-48.78	-21.67	46
30	메탄	-161.6	-55.65	Gas	40

순 번	인화성 물질	끓는점 (°C)	연소열 (MJ/kg)	인화점 (°C)	연소속도 (cm/s)
31	옥탄	125.56	-38.82	13.33	52
32	산화프로필렌	34.44	-30.23	-37.22	82
33	이소프로필아민	34	-39.67	-37	31
34	노말펜탄	36.1	-48.81	-49.44	46
35	프로피온알데히드	48.8	-31.14	-9	58
36	노말디칸	174	-47.71	46.11	43
37	시클로펜탄	49.26	-46.93	-7	44
38	톨루엔	110.56	-42.91	4.44	41
39	트리에틸아민	89.44	-43.02	-8.89	52
40	디페닐메탄	265	-41.18	127	35
41	아세톤	56.11	-31.36	-20	54
42	이소프로필알콜	82.5	-30.15	11.67	41
43	가솔린(100-옥탄)	39~200	43.51	-43	40
44	헥사데칸	287	-47.26	135	44
45	아세트산에틸	77.22	-25.53	-4.44	38
46	에틸알콜	78.33	-30.64	12.78	38
47	메틸알콜	63.89	-23.88	11.11	56
48	무수암모니아	-33.33	-22.47	Gas	45
49	일산화탄소	-192.2	-5.9	650	46
50	아세트나이트	81.67	-30.6	5.56	52
51	노말부틸알콜	117.22	-30.02	28.89	52
52	노말부틸아크릴레이트	145	-31.58	47.78	52
53	스티렌	146.11	-42.12	31.11	52
54	트리에틸아민	3.33	-43.25	-1.20	52
55	아세트산비닐	71.67	-22.69	-7.78	83

【부록 2】 주요 인화성 고체의 물리적 성질

순 번	인화성 물질	폭연점 (°C)	폭발열 (MJ/kg)	폭굉속도 (cm/s)
1	니트로마니트	185	5.855	8260
2	에틸렌디니트레아민(EDNA)	180	4.699	7570
3	니트로이소부틸글리세롤 트리니트레이트	185	7.661	7600
4	테트릴	185	4.773	7570
5	펜타에리트리톨테트라니트레이트	202	5.85	8400
6	폴리비닐질산염(PVN)	175	4.781	7000
7	디펜테리트리톨헥사니트레이트	200	5.144	7400
8	질산하이드라진	229	4.827	8690
9	니트로글리콜	217	7.289	7300
10	디에틸렌글리콜디니트레이트	190	4.566	6600
11	옥소겐	287	5.249	9100
12	2,4,6,2',4',6'-헥사니트로디페닐아민	250	4.075	7200
13	2,4,6-트리니트로크레졸	210	3.37	6850
14	3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원	270	3.148	7860
15	트리아미노구아니딘니트레이트	227	3.974	5300
16	트리니트로아니솔	285	3.777	6800
17	헥사메틸렌트로페폭사이드디아민	200	3.45	4500
18	헥사니트로에탄	175	2.884	4950
19	메타디니트로벤젠	291	2.666	6100
20	트라이나이트로톨루엔	300	4.564	6900
21	트리니트로아닐린	346	3.589	7300
22	트리니트로페녹시니트레이트	300	3.911	7600
23	피크르산	300	3.437	7350
24	암모늄 피크레이트	320	2.871	7150
25	1,3,5-트리아미노-2,4,6 -트리니트로벤젠	384	3.062	7350
26	에틸렌디아민디니트레이트	400	3.814	6800
27	아지화납	360	1.638	5300

Abstract

Development of Model Formula for the Classification of Risk Ranking of Chemical Substances by Physical Hazards

Tae-Ok Kim

*Department of Chemical Engineering, Myongji University
116 Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin, Gyeonggi-do, 449-728, Korea*

Objectives : Currently, hazardous substances and substances of prohibit, authorization and management are classified, taking into account the extent of physical risks and health hazards, but this is only a part. Therefore, to evaluate the risk level of the chemical in any physical risk criteria, there is a need for a study of whether to classify. In particular, it is necessary to develop a classification model formular of risk ranking of chemical substances to complement and improve the problems of the research report performed by KOSHA in 2014. In this study, we developed model formulas for classification of risk ranking of chemical substances by physical hazards and classified the risk rankings of the major chemicals using the model formulas in order to establish the criteria that can be systematically managed by the risk ranking.

Methods : Risk indexes suggested in the previous research report "A

study on the classification of the physical hazards of chemicals”(2014) were analyzed. And model formulas for classification of risk ranking of flammable substances by physical hazards presented based on the risk matrix. By using the proposed formulas, the risk rankings of various flammable liquids, gases and solids were classified and feasibility study with domestic similar classifications and comparative reviews was performed.

Results : In this research, domestic and foreign chemical classification systems and materials on the classification of risk ranking were investigated and analyzed. And in order to complement the problems of the results of the previous research (2014), formulas for calculating fire and explosion risks of flammable gases and liquids and flammable solids were proposed by using the concept of risk matrix. Based on these risks, the risk rankings of the major chemicals were classified for the fire and/or explosion risks. And, the classification results for the fire and/or explosion risks were validated by comparison with similar research results. In addition, management plan at the business and improvement plan of system for hazardous materials risk were proposed.

Conclusions : The results of this research will contribute to the prevention of major industrial accidents to be able to systematically manage the hazardous chemicals in the workplace

Key words : risk ranking, risk index, physical hazardous, fire and explosion, chemical substances

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 명지대학교 산학협력단

연구책임자 : 김태옥 (교수, 공학박사, 명지대학교)

연 구 원 : 신동일 (교수, 공학박사, 명지대학교)

장서일 (대표, 공학박사, 제이케이코리아)

노연주 (연구원, 공학석사, 매경안전환경연구원)

연구상대역 : 이근원 (팀장, 공학박사, 화학물질센터)

한인수 (연구위원, 공학박사, 화학물질센터)

〈〈연 구 기 간〉〉

2015. 4. 8 - 2015 10. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2015년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서에 기재된 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

2015-연구원-801

화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발

발 행 일 : 2015년 10월 30일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 권 혁 먼
연 구 책 임 자 : 명지대학교 산학협력단 김 태 옥
발 행 처 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : 대전광역시 유성구 엑스포로 339번길 30
전 화 : (042) 869-0320
F A X : (042) 863-9002
Home page : <http://oshri.kosha.or.kr>
