

연구보고서

화학물질의 누출특성을 고려한 위험장소 설정기준 개선방안 연구

한우섭·서동현·임진호·최이락

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2021년 02월 ~ 2021년 11월
- 핵심단어 정보통신기술 설비, 폭발위험장소, 누출등급, 폭발하한농도
- 연구과제명 화학물질의 누출특성을 고려한 위험장소 설정기준 개선 방안 연구

1. 연구배경

국내 화학공장에서는 다양한 가연성 가스, 증기, 분진 등을 사용하고 있으며 취급 및 사용 중의 누출로 인한 화재폭발사고가 반복되어 발생하고 있다. 반면에 최근의 ICT설비 및 IoT기기의 급격한 발전을 통하여 사업장의 안전 관리 및 생산의 효율성을 높이기 위한 활용성에 대한 수요가 높아지고 있다. 그러나 ICT설비는 대부분 비방폭기기로서 제품 사용 중에 전기스파크, 고온 표면과 같은 점화원이 될 수 있기 때문에 도입이 쉽지 않은 상황이다. 또한 2015년에 개정된 KS C IEC 6079-10-1(2015)는 화학물질의 누출유량, 밀도, 폭발하한농도를 사용하여 계산된 누출특성을 기준으로 폭발위험장소 범위를 설정하고 있다. 그러나 위험장소 구분에 있어서 화학물질 누출특성의 영향이 크기 때문에 누출형태, 적정 환기량 및 압력조건 등 다양한 변수에 대한 검토가 필요하다. 현재 기준(KS지침 및 KOSHA Guide)에서의 세부 기준에 대한 개선이 요구되고 있으며, 예를 들면 누출원으로부터 산출된 폭발위험장소의 주 범위, 누출형태를 고려한 2차 폭발 위험범위 및 소량의 누출원에 대한 누출특성과 폭발위험장소 구분을 위한 기준이 명확하지 않은 문제가 존재하고 있다. 그러므로 보다 안전한 사용을 위해서는 세부적인 폭발위험장소 설정기준을 확립하여 폭발위험장소에서의 ICT설비의 활용을 촉진할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내외 폭발위험장소에서의 ICT설비의 활용 실태조사 및

국의 폭발위험장소 설정과 관련된 위험도 구분 등의 현황을 조사하여 ICT설비의 안전한 사용 방안을 검토하였다. 또한 화학물질의 누출특성 등을 고려하고 현재 사용하고 있는 지침에 적용가능 여부와 ICT설비의 안전한 사용 등에 관련하여 폭발위험장소 관리를 위한 개선방안 제시를 목적으로 하고 있다.

2. 주요 연구내용

○ 국내외 ICT설비의 폭발위험장소에서의 설정 사례 실태 조사

- 국내외의 폭발위험장소 ICT설비 사용실태조사를 통하여 대부분의 조사 대상국(영국, 미국, 캐나다 등)에서는 비방폭 전기기기를 사업주의 책임 하에 폭발위험장소(Zone 2)에서 사용하고 있으며, 또한 모바일 전자기기는 인증시험기관에 의해 방폭기기로서 인증된 경우에만 폭발위험장소에서 사용이 가능하였다.
- 캐나다 전기코드(Canadian Electric Code : CEC)에서는 “Zone 2의 비방폭전기기기 사용 허용조건”에 대해 상세히 규정하고 있으며, 해당 사용 목적에 적합한 특정 기기를 사용할 수 없거나, 일반적인 사용에 있어서 해당 전기기기가 폭발가스분위기에서 착화 가능한 아크, 스파크 또는 고온표면이 발생하지 않으며, 또한 해당 위험장소가 가연성가스 감지시스템에 의해 지속적인 모니터링이 이루어지는 경우에 사용 가능하다고 규정하고 있다.

○ 국외의 폭발위험장소 설정과 위험도 구분 관련 제도, 지침 등의 현황 조사

- 일본에서는 “공장전기설비 방폭지침-국제정합기술지침(제1편 JNIOH-TR-46-1:2015)”에 따라 해당 전기기계기구가 정격전압 등의 기준값

(1.5V, 0.1A, 25mW)보다 작은 경우에는 일본 노동안전위생법 규칙 제 280조(폭발위험장소에서 사용되고 있는 전기기계기구)에 적용하지 않는 것으로 조사되었다.

- KS C IEC 6079-10-1(2015) 기준에서 규정하고 있는 “무시할 수 있는 범위의 구역(Negligible Extend ; NE)”의 판정 기준에 대해서, 폭발과압 노출로 인한 피해영향이 무시할 수 있는 안전기준인 2.1 kPa 이하, 그리고 복사열 기준은 액면화재에서는 2.3 kW/m², 유증기폭발, BLEVE 등의 파이어볼의 경우에는 11.6 kW/m²을 적용하는 방안을 제안하였다.

○ 폭발위험장소의 구분 및 판정에 대한 기준의 조사

- 영국의 EI 15:2005에서는 인화성 액체의 저장설비에서 누출량에 따른 폭발위험장소 구분 기준값을 제시하고 있는데, 기체(1기압 환산값), 액화가스, 인화성 액체에 대해서 옥내의 경우에는 50, 5, 25 L이며 옥외의 경우에는 1000, 100, 200 L로 규정하고 있다.
- KS C IEC 60079-10-1:2015 및 NFPA 497 기준에서는 소량의 위험물질을 취급하는 폭발위험장소의 구분에 대한 구체적인 기준이 없는데, API RP 505 및 EI 15에서는 다양한 취급 상황과 취급하는 물질의 양에 따른 기준을 제시하고 있다.
- 비방폭 전기기기를 소량 누출원이 존재하는 위험장소에서 사용할 시에는 폭발 위험이 존재하는 범위가 좁고 지속 시간이 짧은 경우에는 누출원의 주변 환경을 가스 감지기 등을 활용하여 감지하는 것이 필요하며, 폭발성 가스의 농도가 폭발하한농도의 25 % 이하의 경우에는 가스 감지기와 연동을 갖게 하는 조건에서 비방폭 전기기기는 비정상작업 등과 같이 단시간 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 영국 HSE의 R630코드에서는 옥외에서 가스 누출률이 1 g/s인 경우에

LFL의 50%에 해당되는 체적(0.1 m^3)으로 제시하고 있으며 과도하게 혼잡하거나 제한되지 않는 장소에서 1 g/s 보다 낮은 누출률에서는 비위험장소로 구분하는 가능하다고 규정하고 있으며, 이러한 기준에서 폭발시물레이션의 검토 결과를 통해서 인적피해 영향이 무시 가능한 수준임을 확인할 수 있었다. R630의 규정은 KS C IEC 60079-10-1:2015에서 규정하는 화학물질의 누출특성이 그래프 하한값 미만에서 폭발위험장소 범위를 결정할 수 없는 문제에 대한 개선방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 연구 활용방안

- 현실적인 폭발위험장소 구분을 통한 효율적인 안전확보 및 방폭기기 선정에 활용
- 폭발위험장소 종별 및 구분의 정밀한 평가를 통해 합리적인 폭발위험장소 작성 자료 제공
- 관련 사업장의 효율적인 폭발위험장소 구분 및 관리를 위한 자료 보급

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 부장 한우섭
 - ☎ 042) 869. 0331
 - E-mail : hanpaule@kosha.or.kr

목 차

I. 서론	1
1. 연구배경 및 목적	3
2. 선행연구	4
3. 연구내용 및 범위	6
II. 폭발위험장소의 ICT설비 사용 및 관련 제도 조사	9
1. 조사 배경 및 목적	11
2. 비방폭기기 ICT설비의 활용실태 및 조사 범위	12
3. 국내외 폭발위험장소 구분 사례 조사	13
1) 국내	13
2) 미국	15
3) 캐나다	16
4) 영국	18
5) 독일	19
6) 일본	19

목 차

4. 위험성평가를 통한 위험장소 구분 방안	20
1) 폭발과압에 의한 기준	20
2) 복사열에 의한 기준	23
3) 위험장소 구분을 위한 폭발특성 기준값	25

Ⅲ. 폭발위험장소 설정 및 위험도 구분 조사 27

1. 폭발위험장소 구분 및 판정 기준	29
2. 소량 누출원의 위험장소 구분 기준	33
3. 위험장소의 비방폭 전기기기의 관리 방법	39
4. 위험장소 구분을 위한 위험성평가	40

Ⅳ. 폭발위험장소 구분을 위한 개선 방안 43

1. 폭발피해 평가를 통한 위험장소의 구분	45
1) 과압 및 복사열에 의한 위험장소 구분	45
2) 위험장소 구분을 위한 화재폭발 피해평가	46

2. 폭발위험장소에서의 비방폭 전기기기와의 활용 방안	53
3. 누출특성에 따른 폭발위험장소 구분 방안	55
1) 위험장소 구분을 위한 누출특성 기준값	55
2) 누출률에 따른 위험장소 설정 기준 검토	57
3) 폭발 시뮬레이션에 의한 위험장소 구분의 평가	60
V. 결론	67
1. 주요 결과	69
2. 활용 방안	71
참고문헌	73
Abstract	75

표 목차

〈표 II-1〉 국내 ICT의 도입 및 활용 사례	13
〈표 II-2〉 캐나다 전기코드(CEC)의 Zone 2 사용허가 조건	16
〈표 II-3〉 CEC 규정의 Zone 2에서 사용 가능한 비방폭기기	17
〈표 II-4〉 폭발위험장소에서 사용 가능한 전기기구의 기준값	20
〈표 II-5〉 폭발 과압에 의한 피해의 크기	21
〈표 II-6〉 복사열의 크기에 따른 피해 영향	24
〈표 II-7〉 폭발특성에 따른 위험장소 구분 기준	25
〈표 III-1〉 누출량에 따른 폭발위험장소 구분 기준값	31
〈표 IV-1〉 화재폭발 피해평가를 위한 계산 조건	48
〈표 IV-2〉 열복사에 의한 고통 및 화상 위험의 기준값	49
〈표 IV-3〉 프로판 폭발 시의 열복사 위험구역	50
〈표 IV-4〉 프로판 폭발범위 가능 구역의 계산 결과	51
〈표 IV-5〉 액화 프로판의 폭발과압 위험구역	53
〈표 IV-6〉 도시가스의 누출률에 따른 화재폭발 피해예측을 위한 계산 조건	57
〈표 IV-7〉 메탄 누출 시의 가연범위 계산 결과	58
〈표 IV-8〉 폭발 시뮬레이션에 사용된 메탄의 계산 조건	61
〈표 IV-9〉 폭발과압에 따른 피해영향 판정 기준	63

그림목차

[그림 II-1] 위험성평가를 통한 위험장소 구분의 판정	23
[그림 III-1] 폭발위험장소 분류를 위한 위험성평가 예시	41
[그림 IV-1] ALOHA에 의한 화재폭발 위험성 평가	47
[그림 IV-2] 프로판의 누출특성 계산 결과	49
[그림 IV-3] 프로판 폭발에서의 복사열 위험영역의 계산 결과	50
[그림 IV-4] 프로판의 폭발범위 구역의 계산 결과	51
[그림 IV-5] 프로판의 폭발과압에 따른 위험영역의 계산 결과	52
[그림 IV-6] 메탄 누출률(1 g/s, 60 min)에 따른 ALOHA의 계산 결과	58
[그림 IV-7] 메탄가스 배관에서의 ALOHA에 의한 폭발범위의 계산 결과	59
[그림 IV-8] 메탄가스 배관에서의 ALOHA에 의한 폭발과압의 계산 결과	59
[그림 IV-9] 위험장소 구분을 위한 폭발공간의 단면도 및 3차원 공간	62
[그림 IV-10] 폭발계산을 위한 격자 구조	62
[그림 IV-11] 메탄의 폭발과압 분포의 계산 결과	64
[그림 IV-12] 구조물 및 인체에 미치는 과압의 강도	64
[그림 IV-13] 메탄의 폭발피해 및 부상 확률 계산 결과	65
[그림 IV-14] 과압에 따른 구조물 및 인체의 피해 영향	65

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

가연성 가스, 증기, 분진 등(이후 “가스 등”으로 표기)을 사용하고 있는 공정, 시설에서는 다양한 전기기기가 사용되고 있다. 이러한 전기기기 등은 제품의 기능이나 사용 조건에 따라 전기스파크, 고온표면 등의 점화원으로 작용할 수 있기 때문에 취급 물질의 누출에 따른 화재폭발 위험성이 상존하고 있다. 전기기기에 의한 점화원이 화재폭발로 이어지지 않도록 하기 위해서는 전기기기가 가스 등과 접촉되지 않도록 공간적으로 차단하거나 또는 전기기기에서 발생하는 스파크, 열원 등의 에너지가 가스 등과 접촉하지 않도록 해야 한다. 전기기기를 가스 등과의 공간적 접촉 차단을 위해서는 누출로 인한 폭발범위의 농도 구역에서 전기기기를 사용하지 않아야 하며 폭발범위가 가능한 거리를 산정하여 폭발위험장소 범위를 구분할 필요가 있다. 또한 전기기기에서 발생하는 에너지가 점화원이 되지 않도록 특별한 방법을 적용한 설비를 사용해야 한다. 이와 같이 사업장이나 공정 등에서의 가스 등의 누출에 의한 화재폭발사고 예방을 위해서는 폭발위험장소 여부를 조사하고 해당 구역에 적합한 방폭전기기기를 사용할 필요가 있다.

현재 국내 화학공장에서는 위험장소 구분을 위하여 KS C IEC 60079-10 (폭발성분위기) 및 KOSHA GUIDE(E-150-2017-가스폭발위험장소 설정지침) 등을 활용하여 화학물질의 누출유량, 밀도, 폭발하한농도를 사용하여 계산된 누출특성을 기준으로 폭발위험장소 범위를 설정하고 있다. 그러나 화학물질의 누출특성은 조건에 따른 영향이 크기 때문에 누출형태, 적정 환기량 및 압력조건 등의 다양한 변수에 대한 검토가 필요하며, 이러한 세부 기준은 현행의 KS지침 및 KOSHA GUIDE 등에서는 충분하지 않은 것이 현실이다. 예를 들면 누출원으로부터 산출된 폭발위험장소의 주범위, 누출형태를 고려

한 2차 폭발 위험범위 및 소량의 누출원에 대한 누출특성과 폭발위험 장소 구분을 위한 기준이 명확하지 않다는 문제가 존재하고 있다. 또한 공정위험요인 관리 등에서는 기존의 설비를 대체하는 다양한 ICT설비가 개발되고 있지만 대부분이 비방폭형이므로 안전한 사용을 위해서는 정확하고 세부적인 폭발위험장소 설정기준이 요구되고 있다.

본 연구에서는 국내외 폭발위험장소에서의 ICT설비의 활용 실태조사 및 국외 폭발위험장소 설정과 관련된 위험도 구분 등의 현황을 조사하고 ICT설비의 안전한 사용 방안을 검토하였다. 또한 화학물질의 누출특성 등을 고려하여 현재 사용하고 있는 지침에의 적용가능 여부 및 ICT설비의 안전한 사용 등에 관련하여 폭발위험장소 관리를 위한 개선방안 제시를 목적으로 하고 있다.

2. 선행 연구

국내 폭발위험장소 구분에 관련된 기준은 산업표준화법 중의 KS C IEC 6079-10-1(2015) 및 산업안전보건기준에 관한 규칙 제230조(폭발위험이 있는 장소의 설정 및 관리)에 근거하고 있다. 2015년에 개정된 KS C IEC 6079-10-1(2015)에는 누출계수(Cd), 압축인자(Z), 누출특성(Character- istic of release), 누출구멍의 단면적(Hole cross sections ; S) 등의 개념이 새롭게 추가되었으며 2017년 1월부터 법적 시행이 이루어졌다. 이와 같은 폭발 위험장소의 제도 개선과 관련하여 위험장소의 구분 및 설정에 대한 다양한 선행 연구가 이루어졌다.

폭발위험장소 구분을 위하여 IEC 60079-10-1을 적용한 사례연구를 통해서 가연성 물질의 방출특성, 작업 환경 등을 함께 고려할 필요가 있음을 나타냈다(Bozek, A., 2017). 폭발위험장소 구분 기준과 관련하여 KS C IEC 6079-10-1(2015)의 제한 사항과 대책을 제시하였으며(Choi, J. Y., 2018), 2015년에 개정된 폭발위험장소 설정 기준 개정을 개정 전의 기준과 비교, 분석을 통하여 개선이 필요한 연구사항 및 내용을 제안하였다(Jung, Y, et al., 2018).

또한 저압 도시가스의 사용설비에 대한 폭발위험성을 예측하기 위해서 화학공장에 적용되는 KS기준(KS C IEC 60079-10, 2015)에서 구체적으로 제시되지 않은 누출공의 크기, 환기 등급, 환기 유효성 등과 같은 주요 변수를 도입하여 폭발위험성을 평가한 결과, KS기준에 의한 폭발위험범위는 실제 누출실험에 의한 폭발위험의 범위보다 과대평가의 결과를 나타냈다고 보고하고 있다(Sangil Han et al., 2016).

가상체적을 이용한 폭발위험장소 구분 방법은 실제 폭발위험장소보다 넓은 폭발위험장소가 설정되는 경향이 있는데, 물질종류군 별의 평가 요소에 따라 비교한 결과 가벼운 물질은 분자량과 밀도에 영향을 많이 받고 있으며 폭발하한농도의 경우에는 부피단위보다 질량단위에 의한 영향이 큰 것을 확인할 수 있었다(D.Y, KIM, et al., 2017). 폭발위험장소 구분을 위해 기존 기준(KS C IEC 60079-10, 2012)과 개정기준(KS C IEC 60079-10, 2015)에 있어서 환기 및 희석 관점에서 폭발위험장소 반경에 미치는 영향을 비교 검토한 결과에서는 누출특성값을 이용한 폭발위험장소 범위는 환기속도의 증가로 인한 영향이 거의 없었으며, 환기 및 희석이 잘 된다고 하더라도 위험반경에 영향이 없는 경우가 발생함을 알 수 있었다(N.S., KIM, et al., 2018).

그리고 폭발위험장소 구분에 있어서 화학물질 누출 시에 있어서 누출구(hole radius)의 크기는 누출률을 결정하기 위한 중요 변수이기 때문에 합리적인 결정이 중요하며, 반도체 산업용 가스인 실란(SiH_4 , LEL 1.62%)에 대한 폭발위험장소의 비방폭화를 위해서 환기속도를 높일 필요가 있으며, 이를 반도체 산업에 적용하는 방안으로서 배기 풍량의 증가에 의한 방법이 적용될 수 있음을 제시하였다(S.R., KIM, et al. 2020).

3. 연구 내용 및 범위

개정 전의 IEC 6079-10-1(2011)에서는 누출형태를 고려하지 않은 가상체적방식에 의한 폭발위험장소 구분 방법으로서 위험장소 범위가 누출구 면적에 크게 의존하기 때문에 실제 폭발위험 분위기 범위보다 폭발위험장소 구분 범위가 과대평가되는 경향이 있었다. 이는 폭발위험장소 구분에 대한 보수적인 접근방법으로서 안전을 중요시 하는 관점에서는 보면 위험요인 저감에는 매우 효과적이다. 그러나 최근의 폭발위험장소에서의 ICT설비 활용에 대한 사회적 관심 및 수요의 증가, 그리고 안전비용 효과를 높이기 위해서 보다 정확한 폭발위험장소의 구분에 대한 필요성이 사회적으로 요구되고 있다. 반면에 IEC 6079-10-1(2015)에서는 화학물질의 누출특성을 활용한 폭발위험장소 구분에 대한 로그 그래프가 제시되고 있으며, 본 로그 그래프는 누출형태를 제트 누출, 확산누출, 증가스 누출로 분류하고 연속등식과 CFD모델에 의한 계산 결과를 기반으로 개발되었다. 그러나 폭발위험장소 범위를 구분하는 규정은 몇 가지 간단한 사례만을 제시하고 있으며 다양한 조건 및 구체적인 기술적 사항에 대해서는 기술되어 있지 않다. 또한 실제 사업장에서 폭발위험장소 범위를 구분하는 경우에는 여러 가지 경험과 관련 지식을 필요로 하며 평가자의 판단을 필요로 하는 경우도 있다. 따라서 현재의 폭발위험장소 규정에서는 방폭설정기준의 법적근거로 사용되고 있지만 명확한 환기등급의 구분을 제시하지 않고 있어, 폭발위험장소의 종별 및 방폭거리의 산정이 쉽지 않으므로 이에 대한 개선방안이 필요하다. 또한 누출특성(m^3/s)과 환기속도(m/s) 및 방폭반경(m)의 환산이 로그 스케일에 의한 그래프에 의해 평가되고 있으므로 폭발위험장소의 종별과 범위를 정확히 판정하기가 쉽지 않은 실정이다. 또한 최근에는 대부분 비방폭형인 ICT설비의 효율적이며 안전한 사용에 필요한 상세한 폭발위험장소 설정기준에 대한 산업계의 요구와 함께 이에 대한 해결방안 필요성도 대두되고 있다. 본 연구에서는 이러한 사항을 고려하여 연구내용 및 방법을 다음과 같이 정하였다.

1) 연구 내용

- (1) 국내외 ICT설비의 폭발위험장소에서의 설정 사례 실태 조사
- (2) 국외 폭발위험장소 설정과 위험도 구분 관련 제도, 지침 등의 조사
- (3) 폭발위험장소 구분 및 판정에 대한 기준의 조사
- (4) 폭발위험장소 구분을 위한 현실적인 방폭구역 설정 기준에 대한 개선 방안 제시

2) 연구 방법

- (1) 국내외(국내, EU, 영국, 미국, 일본 등)의 ICT설비의 폭발위험장소 구분 실태 및 화학공장 위험지역 대체설비로 사용되는 ICT설비 현황조사
- (2) 국외(미국, 영국, 일본 등) 등에서의 폭발위험장소 구분 사례 조사
- (3) 누출량을 바탕으로 산정하는 폭발위험장소 범위 판정의 기준에 대한 국외 기준의 조사 및 검토
- (4) 국외 지침을 대상으로 소량의 화학물질 취급 사업장 및 실험실 등과 같이 소량 누출원의 누출특성과 폭발위험장소 범위 구분에 대한 판정기준 및 방법 조사
- (5) 누출공 결정을 위한 누출 개구부의 계산식 확대 적용 및 범위에 대한 판정 기준의 개선 방안 조사
- (6) 국내 기준 및 기준 개선안에 대한 위험장소 종별과 방폭거리의 영향 평가를 통한 개선 방안의 타당성 검토 및 방안 제시

Ⅱ. 폭발위험장소의 ICT 설비 사용 및 관련 제도 조사

.....

II. 폭발위험장소의 ICT설비 사용 및 관련 제도 조사

1. 조사 배경 및 목적

최근 다양한 센서의 개발을 통해 그 동안 측정이 쉽지 않았던 여러 분야의 공정 상황에 대해서 모니터링이 이루어지고 있다. 이를 위해 여러 가지 센서 등을 활용한 ICT(정보통신기술)설비의 보급을 통하여 얻어진 방대한 데이터를 분석할 수 있는 빅데이터 기술이 활용되고 있다. ICT설비는 다양한 정보의 형태로 현실 사회를 표현하며 모델링화에 의한 경험, 지식 및 노하우를 활용하여 많은 양의 정보를 조합하고 현실 사회에 새로운 부가가치를 창출할 수 있는 IoT(사물인터넷)를 통하여 급격한 발전이 이루어지고 있다. 또한 국내의 적지 않은 화학공장 등에서는 설비의 노후화가 진행되고 있으며 사업장에서는 조기 은퇴에 따른 안전에 경험이 많고 숙련된 노동자의 수가 감소하고 있다. 이는 사업장의 안전기술, 생산성 향상 및 기술 혁신 등의 발전을 저해하고 있으며 중대사고의 발생 위험성을 증가시키는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 중대화학사고를 예방하고 동시에 관련 산업을 발전시키기 위해서는 ICT설비의 보급을 통해 화학플랜트의 빅데이터를 수집·분석하여 활용하는 것이 필요하다. 이를 통해 공정설비의 고장, 인적오류, 시스템 이상의 방지대책을 추진해야 하며 이를 실현시키기 위한 화학공장 내의 ICT설비 도입의 수요가 높아지고 있다.

그러나 화학공장이나 위험물질을 취급하는 사업장에는 폭발위험장소가 존재하며 이러한 장소에서 ICT설비를 도입하여 사용하는 경우에는 ICT설비가 착화원으로 작용하여 화재폭발사고 위험성으로 이어질 수 있다. 더욱이 현재 사업장 내의 폭발위험장소에서 ICT설비를 활용하는 경우에는 산업안전보건법

이나 고압가스안전관리법 등에 의해 제도적으로 관리되고 있으며 사용 상의 제한사항이 적지 않아 보급도 쉽지 않은 실정이다. 특히 폭발위험장소 범위 설정은 IEC 6079-10-1 (2015)의 규정에 따라 주로 이루어지고 있으며, 폭발위험장소 구분에 활용할 수 있는 상세한 기준이 충분하지 않고 관련 위험성 평가법이 매우 부족하여 사업장에서 활용할 수 있는 평가방법도 충분치 않은 것이 현실이다. 이러한 상황에서 ICT설비와 같은 최신 전자기기의 사용을 고려한 폭발위험장소 구분에 대한 지침 등도 없기 때문에 보다 정확한 폭발위험장소 구분에 대한 판단이 쉽지 않다. 따라서 산업안전보건법 및 관련 규정에서 요구하는 안전 수준을 확보하면서 ICT설비의 안전한 사용방법을 강구할 필요가 있다. 이를 위해 먼저 국내외 사업장에 있어서 비방폭기기의 ICT설비의 사용 상황 및 실태를 조사하였다.

2. 비방폭기기 ICT설비의 활용실태 및 조사 범위

본 실태 조사는 미국, 캐나다, 영국, 일본 등에 있어서 화학공장 내 폭발위험장소에서 비방폭기기 ICT설비의 사용 현황에 대한 것이다. 그러나 조사대상 ICT설비의 종류는 매우 많기 때문에 모든 설비에 대해서 조사하는 것은 쉽지 않으므로 사업장에서 많이 활용되고 있는 정보통신 전기기기, 가스검지 센서 및 자동제어장치 등을 중심으로 비방폭기기의 폭발위험장소에서의 사용 실태 조사를 실시하였다. 이러한 조사 목적에 필요한 정보를 수집하기 위해서 화재폭발연구 및 방폭전기기기 관련의 시험 및 인증을 수행하고 있는 이하 각국의 안전관련 주요 기관에서 발행한 문헌을 바탕으로 자료를 수집하였다.

- (1) 미국 보험협회 안전시험소(Underwriters Laboratories Inc. ; UL)
- (2) 캐나다 표준협회 (Canadian Standards Association ; CSA)
- (3) 영국 CML(Certification Management Limited ; CML)
- (4) 독일 연방물리기술원(Physikalisch-Technische Bundesanstalt ; PTB)

(5) 일본 JNIOOSH (Japanese National Institute of Occupational Safety and Health)

3. 국내외 실태 조사

1) 국내

국내의 정보통신기술(ICT)은 외국에 비하여 많은 발전을 이룩하였으며 선도적인 5G 기술 도입을 통하여 정보통신 인프라 구축과 이에 기반한 4차 산업혁명을 주도하고 있다. 그러나 2020년도 기준에서 보면 국내 기업들에 의한 ICT 인프라의 활용도는 높다고 할 수 없으며 외국과 비교하면 OECD의 평균 이하로 알려지고 있다. 또한 실제 적용 현황을 살펴보면 정보통신기술을 활용하기 위한 기업의 구축 사례도 많지 않다. 국내 ICT의 도입 및 활용 사례를 <표 II-1>에 나타냈다. 그 동안 국내에 적용된 ICT설비 사례를 보면, 사업장

<표 II-1> 국내 ICT의 도입 및 활용 사례

구분	활용 예시
노동자 안전	스마트장비 및 보호구, 공정 모니터링, 액션캠 LTE 장착한 안전모 등
품질 확보	스마트팩토리, 배관안전 시스템, 외관파열감지, 장비의 운용과 시설 장애의 자료 수집·분석, 이미지 기반 파손 및 위험후보 도출 기술 등
유해위험 작업 환경 안전	스마트안경(플랜트 안전관리), 모바일폰(밀폐공간 알림서비스), 위험현장 유해위험정보 수집(가스확산범위 실측 및 대기환경 감시) 등

내의 LTE 전용망을 구축하고 IoT기술을 접목시켜 사업장의 공정 상황을 사내 서버에 실시간으로 기록, 관리하는 스마트팩토리의 예를 들 수 있다. 스마트팩토리를 적용한 사업장의 사내 LTE 전용망은 사전에 인증을 받은 작업자만이 접속할 수 있기 때문에 통신망의 보안을 확보할 수 있으며 안정적인 업무 자료의 송수신에 따른 업무 효율성이 증가하였다. 그동안 이루어져 왔던 오프라인에 의한 문서작업 내용을 온라인 서버에 등록하여 활용함으로써 정보 보안의 확보와 신속한 업무처리에 의한 사업장 내의 안전관리 향상으로 이어지는 효과를 얻을 수 있었다.

또한 기존 사업장 내에서는 작업 과정을 CCTV를 통하여 실시간 모니터링하고 있었는데, 이는 한정된 부분의 작업 과정만을 확인할 수 있다는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 산업용 휴대용 카메라를 작업장에 도입하고 IoT기기를 활용하여 작업자 주변의 현장 모습을 실시간으로 안전관리부서에 전송하여 현장에서의 작업이상 유무, 사고 등의 발생에 신속한 대응이 가능하도록 하였다. 그 밖에도 화학공장에서는 방폭 스마트폰의 도입을 통하여 배터리 폭발에 의한 점화원을 차단하여 사고 발생 가능성을 방지한 사례도 있다. 산업안전보건법에서는 화학공장에서 가스 등과 같은 위험물이 존재하는 작업장이나 공정 내에서는 비방폭 전기기기의 사용을 금지하고 있다. 개인 스마트폰은 주로 리튬 배터리를 사용하고 있는데 외부 충격 등에 의해 리튬은 착화하여 화재폭발 위험성이 있기 때문에 폭발위험장소에서는 사용할 수 없다. 이러한 이유로 인하여 국내 화학공장에서는 폭발위험장소에서 대부분 방폭 무전기를 사용하고 있으며 이에 따른 정보 데이터의 송수신에 한계가 있으며 업무 효율성도 떨어지는 원인이 되었다. 국내 사업장 중에서는 방폭 스마트폰과 PDA 등과 같은 모바일 전자기기를 도입하여 공정 데이터를 수집하고 이를 활용하여 작업자들의 안전을 높일 수가 있었으며 ICT기술을 활용한 공정자료 수집을 통하여 업무 효율성이 향상되었다는 사례도 있다.

이상과 같이 국내 ICT설비 사례를 통하여 공정의 업무 효율성을 높이고 안전

확보에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 현재 국내 관련 제도 및 규정에서는 가스 등의 화재폭발 위험물질을 감지할 수 있는 IoT센서를 활용한 ICT설비는 매우 제한적이며 폭발위험장소에서의 적용 기준이나 규정이 없는 상황이다. 비방폭기기 ICT설비를 폭발위험장소에서 사용하기 위해서는 해당 폭발위험장소에서 발생하는 위험물질의 최소착화에너지(MIE)의 자료를 활용할 필요가 있다. 가스 등의 위험물질의 최소착화에너지(MIE)가 비방폭기기 ICT설비에서 발생할 수 있는 스파크 에너지보다 큰 경우에는 해당 폭발위험장소에서 비방폭기기 ICT설비의 사용이 가능하다.

2) 미국

미국에서는 직업안전위생법(Occupational Safety and Health act : OSHA)의 제 5 조에 따라 각 사업자는 노동자가 사망 또는 심각한 신체적 손상을 일으킬 수 있다고 인정되는 위험에 노출되지 않도록 하고 안전한 장소를 제공할 의무를 가진다. 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration : OSHA)이 인정한 UL 등의 미국국가인증시험기관 (Nationally Recognized Testing Laboratories : NRTL)에서는 가스 감지기 등의 사용 가능 여부에 대해 최종 결정 권한은 없으며, 그러한 권한은 미국 각 주의 관할 당국(소방서장, 주정부 담당자 등)이 가지고 있다. 미국 전기공사코드(National Electric Code : NEC)의 제 500조에 따르면 폭발위험장소에 관한 사항이 규정되어 있다. 규정에 의해 분류된 지역 (Division 1, Division2, Zone 0, Zone 1, Zone 2)에서 비방폭기기의 가스 감지기 등을 사용하는 것이 금지되어 있다. 그러나 미국 직업안전위생법(OSHA Act)에 근거하여 사업자의 책임 하에 비위험장소 이외의 Zone 2에서 비방폭기기의 ICT설비가 사용되고 있다. 반면에 미국 전기공사코드(NEC)에 따라 폭발위험장소에서의 사용에 대한 인증을 취득하지 않은 모바일 전기기기는 위험장소에서의 사용을 금지하고 있다. 그러나 화기사용 허가(Hot Work Permit)라는 제도가 있는데, 해당 공정 구역에 위험이 없는 경우에는 작업 시점 및 구역에서 일시적으

로 비방폭용의 전기기기를 사용할 수 있다. 그러나 "화기사용 허가"는 미국 전기공사코드(NEC)에 의한 것이 아니므로 그 활용 방법이나 요구사항은 지역에 따라 크게 다르다. 참고로 화기사용 허가(Hot Work Permit)는 대부분의 국가에서 제도적으로 활용되고 있으며 해당 구역을 감시하고 위험이 존재하지 않는 것이 확인된 경우에는 비방폭기기의 설비를 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 해당 사업장의 안전관리 담당자가 화기사용 허가를 발행하고 있는데, 현장의 작업개시 전에 취득해야 하며 대부분 화기사용 허가의 유효 기간은 8시간으로 되어 있다.

3) 캐나다

캐나다에서 캐나다 노동법(CLC : 122.1)의 제 II 부에서 사업자는 취업중인 근로자의 안전과 보건을 확보해야 한다고 규정하고 있다. <표 II-2>에 제시한 캐나다 전기코드(Canadian Electric Code : CEC)의 C22.118-068항의 "가연성 가스 감지"에서는 "Zone 2의 사용 허용조건"에 적합한 경우에는 Zone 2에서 비방폭전기기기를 사용할 수 있음을 규정하고 있다.

<표 II-2> 캐나다 전기코드(CEC)의 Zone 2 사용허가 조건

구분	Zone 2에서의 비방폭기기 사용허가 조건
A	해당 사용 목적에 적합한 특정 기기를 사용할 수 없음
B	일반적인 사용에 있어서 해당 전기기기가 폭발가스분위기에 착화 가능한 아크, 스파크 또는 고온표면이 발생하지 않음
C	해당 장소가 다음의 가연성가스 감지 시스템에 의해 지속적인 모니터링이 이루어지고 있음

캐나다 전기코드(CEC)에서 규정하는 Zone 2의 비방폭기기 사용 조건은 방폭구역에서 사용 가능한 비방폭기기가 없거나 비방폭기기를 사용하더라도 설비 자체에서 어떠한 착화원도 발생하지 않는 경우에서만 사용 가능하다고 규정하고 있다. 반면에 착화원 발생 가능성이 있는 비방폭기기를 Zone 2에서 사용할 수 있는 경우는 <표 II-2>에서와 같이 방폭구역에서 가연성가스 감지 시스템에 의해 지속적인 모니터링이 이루어지고 있는 경우에 사용허가하고 있다. Zone 2에서 비방폭전기기가 사용 가능한 경우는 <표 II-3>에 제시한 안전설비 및 사용조건에 적합해야만 한다.

<표 II-3> CEC 규정의 Zone 2에서 사용 가능한 비방폭기기

구분	Zone 2에서의 비방폭 전기기기의 사용가능 조건
1	가스농도가 폭발하한농도(LEL ; Lower Explosion Limit)의 20 %에 도달할 때에 경보음을 발생한다.
2	환기설비 또는 가스농도가 LEL에 도달하는 것을 방지하기 위해 설계된 안전 설비가 제공되는 경우에는 가스농도가 LEL의 20 %에 도달했을 때에 환기설비 또는 안전 설비가 가동한다.
3	환기설비 또는 구분 2에 규정된 안전 설비가 있는 경우에는, 가스농도가 LEL의 40 %에 도달하면 보호대상의 전기기기를 자동으로 차단한다.
4	환기설비 또는 구분 2에 규정된 안전 설비가 없는 경우에는, 가스농도가 LEL의 20 %에 도달하면 보호대상의 전기기기를 자동으로 차단한다.
5	가스감지기가 고장난 경우에는 즉시 보호 대상 전기기기를 자동으로 차단한다.

또한 모바일 정보통신기기는 캐나다 규격심의회(Standards Council of Canada : SCC)의 공인시험기관에서 폭발위험장소에서의 사용에 대한 인증을 취득하지 않으면 위험장소에서 사용할 수가 없다. 일반적으로 모바일 정보

통신기기는 사용 해당 폭발장소 구역을 조사하여 가연성 분위기가 존재하지 않는 것으로 측정, 확인된 경우에만 사용할 수 있다.

4) 영국

EU지령(1999/92/EC)의 제 3조에는 폭발성 분위기의 형성을 방지 또는 작업 특성상 이것이 가능하지 않은 경우에는 폭발성분위기의 점화 방지대책을 실시해야 한다. 또한 사업자는 다음의 기본 규정에 따라 우선순위 작업의 특성에 적합한 기술적 대책 또는 구조적인 대책을 강구하도록 되어 있다. 이를 위해 노동자의 안전을 보장하기 위한 폭발피해 저감대책을 강구해야 하며, 이러한 대책은 필요에 따라 화재폭발전파 자체에 대한 안전대책을 고려하거나 폭발 확산에 대한 저감대책을 통하여 화재폭발 피해가 확대되지 않도록 해야 한다. 또한 이러한 대책은 정기적으로 검토하고 중대한 변경이 있을 때에는 즉시 재검토를 시행해야 한다. 또한 영국에서의 사업자는 EU지령(1999/92/EC)의 제 3조에 따라 국소 지역의 가스농도를 검출하여 폭발분위기의 점화를 방지하기 위한 비방폭형의 가스검지기의 사용을 권장하도록 되어 있다. 그러나 이러한 방법이 허용되는 구역은 특히 규정되어 있지는 않지만, Zone 1에서는 일상 작업 조건에서 폭발성분위기의 누출이 발생할 수 있으므로 전기기기를 정상적으로 차단해야 하고 비방폭형의 가스검지기의 사용이 적용되는 경우는 거의 없으며 Zone 2에서만 사용되고 있다.

EU지침(Directive 1999/92/EC)은 영국의 위험물질 및 폭발성분위기 규칙 2002(The Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations ; DSEAR, 2002)에 근거하여 시행되고 있지만, 여기에는 가스검지기에 대한 요구사항은 규정되어 있지 않다. 영국 보건안전법(Health and Safety at Work Act ; 1974)의 제 2조에는 안전과 보건을 유지하는 책임은 사업자에게 있다고 규정하고는 있으며 영국 안전보건청(HSE : Health and safety executive)은 사업자에 대한 안전관련 지침을 제정하고는 있지만 본 지침의 내용에는 법적 구속력이 없다.

5) 독일

독일에서는 ATEX 지침의 적용범위에 규정되어 있지 않는 비방폭형 전기기기에 대해서는 독일연방물리기술원(Physikalisch-Technische Bundesanstalt ; PTB)은 사업자의 책임 하에서 사용되는 전기기기 중에서 사업자의 책임 하에서는 비위험장소 및 Zone 2에서 사용 가능하다고 규정하고 있다. 이는 EU지령(1999/92/EC)에 따르는 영국의 경우와 유사한 점이라 할 수 있다. 또한 PTB는 ATEX 지침에 따라 EU형식의 시험증명서 및 품질보증 통지의 발행을 통한 방폭기기 인증을 할 수 있는 권한이 부여되고 EU의 각국 정부가 EU위원회에 통보한 기관으로서, 모바일 정보통신기기를 폭발위험장소에서 사용하는 경우에는 방폭기기로서의 형식 검정을 요구하고 있다. 그러므로 이러한 전기기기는 폭발위험장소에서 사용되는 고정식 전기기기와 마찬가지로 동일하게 취급되고 있다.

6) 일본

일본 노동안전위생종합연구소(Japanese National Institute of Occupational Safety and Health ; JNIOOSH)의 기술지침으로 제정된 “공장 전기설비 방폭지침-국제정합기술지침”은 “제1편 JNIOOSH-TR-46-1 : 2015”에서부터 “제9편 JNIOOSH-TR-46-9 : 2015”까지 구성되어 있다. 또한 본 지침은 방폭구조 규격 제5조의 “국제표준 등”으로 규정되어 있는 IEC규격에 따라 제조된 방폭전기기는 방폭구조규격에 적합한 것과 동등 이상의 방폭성능을 가지고 있음을 확인하기 위한 기준이 되고 있으며 본 공장전기설비 방폭지침은 JNIOOSH 홈페이지(<https://www.jniosh.johas.go.jp/index.html>)의 공개 자료에서 열람이 가능하다. 일본 노동안전위생법 규칙 제280조(폭발위험장소에서 사용되고 있는 전기기계기구)에는 증기 또는 가스에 의한 폭발위험에 따라 적합한 방폭성능을 가진 방폭전기기계기구를 사용하도록 규정하고 있다. 반면에 <표 II-4>와 같이 정격전압 등의 기준값보다 작은 해당 전기기

계기구의 경우에는 동법 제280조가 적용되지 않는다. <표 II-4>의 전기기구 기준값 이하에서는 인화성 가스 또는 인화성 증기, 그리고 가연성 분진이 폭발분위기를 형성할 수 있는 위험이 있는 농도에 도달한 장소에서 사용하여도 점화원으로 작용하지 않는다. 그러나 전기기계기구를 다른 전기기계기구에 연결하여 해당 전기기계기구 회로의 정격전압 등이 <표 II-4>의 각 구분 기준값을 초과할 우려가 있는 경우에는 사용할 수 없다. 비방폭기기 ICT설비의 위험장소 사용에 대해서는 미국, 영국 등과 같이 위험성평가를 통한 보다 현실적인 폭발위험장소 구분을 위해 관련 기관(일본 후생노동성 및 경제산업성)에서 새로운 기준을 협의하고 있으며 이를 통한 비방폭 전기기기의 안전한 사용의 확대를 검토하고 있는 실정이다.

<표 II-4> 폭발위험장소에서 사용 가능한 전기기구의 기준값

구분	기준값
정격 전압	1.5 V
정격 전류	0.1 A
정격 전력	25 mW

4. 위험성평가를 통한 위험장소 구분 방안

1) 폭발과압에 의한 기준

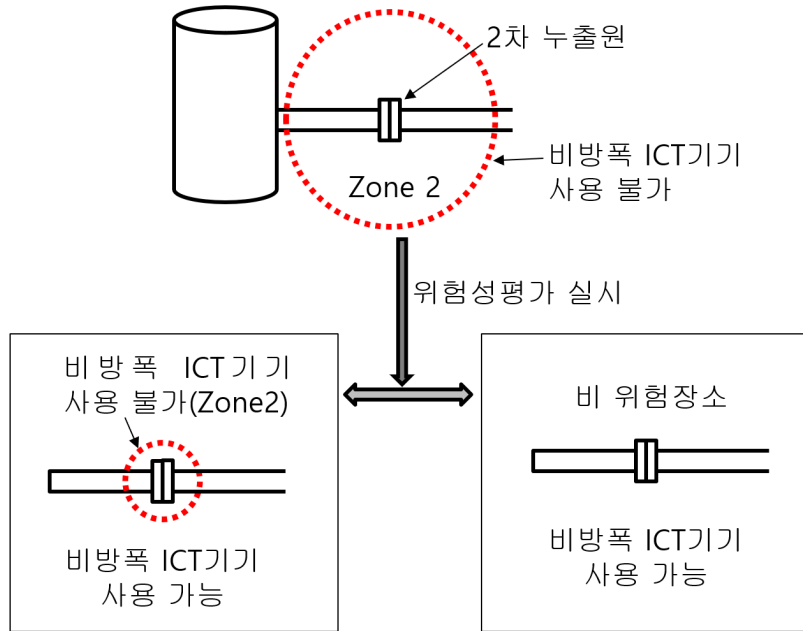
인화성 가스 등의 누출원이 존재하면 그 주변은 원칙적으로 위험장소로 구분된다. 그러나 위험장소에 대한 위험성평가를 통하여 “무시할 수 있는 범위의 구역”으로 판정할 수 있는 경우에는 비방폭구역으로 설정이 가능하다. 무시할 수 있는 범위의 구역에서는 폭발이 발생하더라도 사고로 인한 피해 영향이 매우 작기 때문이다. 다만, “무시할 수 있는 범위의 구역”의 정량적인 피해

〈표 II-5〉 폭발 과압에 의한 피해의 크기

폭풍압(과압) kPa	피해 크기
0.2	작은 유리창이 파손
0.7	큰 유리창이 파손
1	유리가 파괴되는 일반적인 압력
2	집의 지붕 일부가 파손. 10% 유리창의 파손
2.1	2.1 kPa(안전한계) 이하에서는 95% 확률로 피해가 없음
3	가벼운 구조물의 손상 (약 2.8 kPa)
3.5-7	크거나 작은 유리창의 파괴 또는 일부 창틀의 파손
5	주택 일부가 다소 파손
7	일부 주택의 파손으로 거주가 불가능
9	철 구조물이 다소 변형되거나 손상
15	주택의 벽과 지붕이 일부 파손
15-20	비 강화 콘트리트와 블록 벽 등이 파손
16	구조물이 심하게 손상하기 시작
18	주택의 블록이 50%정도 파손
20	건축물에서 철구조물이 손상되고 건물기초에서 이탈
20-28	지지대의 설치가 없는 강철 재질 건물 또는 오일 저장탱크의 파손
30	공장 건축물의 파손
35	나무 기둥의 전도
35-50	주택의 완전한 파손
50	적재 화물 차량의 전복
50-55	강화벽이 이외의 20~30 cm두께의 블록이 파손
60	대형 화물차의 전파
70	대부분의 건축물이 붕괴

크기에 대해서는 보다 상세한 검토가 필요하다. 폭발 과압에 의한 피해 크기는 <표 II-5>와 같으며, 인화성 가스 등이 누출로 인해 폭발이 발생하여 인체가 과압에 노출되어 나타나는 피해 영향을 보여주고 있다. 폭발 발생으로 인한 안전한 과압 기준은 2.1 kPa 이하로 알려지고 있으며, 이 때 발생한 폭발 압으로 인한 피해는 약 5%로 나타나는 것으로 보고되고 있다 (Clancey V.J., 1972). 따라서 위험장소 구분에 있어서 “무시할 수 있는 범위의 구역”의 판정 기준을 폭발로 인한 과압이 2.1 kPa 이하로 정하면 타당할 것으로 판단된다. 그러나 “무시할 수 있는 범위의 구역”으로 판정되더라도 누출원이 있는 경우에는 주변의 위험을 완전히 무시할 수는 없다. 그러므로 누출원이 매우 가까운 구역에서는 비방폭 전기기기를 사용하지 않는 것이 필요하다. IEC 6079-10-1(2015) 기준에서는 “무시할 수 있는 범위의 구역”을 “Negligible Extend (NE)”로 나타내며 가스 등의 평균농도는 LEL의 50 vol%이며, 0.1 m³ 미만이거나 밀폐 공간의 1.0 % 미만의 가연성분위기로 규정하고 있다. 또한 “Negligible Extend (NE)”로 판정을 받은 구역은 “Non-hazardous (Zone 2 NE)”로 표기하고 있다.

[그림 II-1]은 플랜지 배관의 누출에 대해 가상체적을 적용하여 평가한 결과의 예로서 Zone 2가 넓게 설정되어 있으며, 상세 위험성평가를 실시한 후에 2차 누출원 주위의 비위험장소를 나타내었다. 2차 누출원이 단독 누출원이라면 일반적으로 위험장소 구분은 Zone 2가 된다. 그림에서 배관의 플랜지 부분의 빨간색 점선 영역을 보면, 상세 위험성평가를 하기 전에는 넓은 Zone 2로 설정되어 있다. 누출원에 대해 IEC규정에 따라 평가하여 가스 등의 방출 특성 및 환기조건을 만족하지 않으면 위험구역으로 분류되지만 만족하는 경우에는 비 위험장소로 구분된다. 비 위험장소로 평가되지 않는 경우에는 Zone 2가 되며, Zone 2에 대해 상세 위험성평가를 통하여 Zone 2의 범위를 평가할 수 있다. Zone 2의 범위 설정과 비 위험장소 구역의 판정을 동시에 실시할 수 있다.



[그림 II-1] 위험성평가를 통한 위험장소 구분의 판정

2) 복사열에 의한 기준

가스 등의 누출원이 착화에 의해 화재폭발이 발생하면 폭발과압 이외에도 화염에서 방출되는 복사열에 의한 피해도 예상된다. 복사열이 인체에 미치는 영향에 대해서 그동안 많은 실험적 및 이론적 연구가 이루어져 왔으며, 화염에서 방출되는 복사열의 크기에 따른 인체와 물체에 미치는 영향에 대한 여러 가지 조사 결과가 보고되고 있다 (Stoll, A.M., 1969 ; ISO 17492, 2003). 화재폭발 시에 발생하는 복사열에 따른 피해 영향은 단위시간 당의 열량과 폭로 시간에 의해 평가된다. 인화성 액체의 액면 상부에서 인화성 증기의 착화에 의해 화재확산과 함께 화염이 지속하며 발생하는 Pool fire(액면화재)의 경우에는 화염이 인체에 미치는 영향 허용한계로서 2.3 kW/m^2 가 주로 사용되고 있다. 화염의 복사열 크기(Radiant intensity)에 따라 인체에 미치는 피

해 영향을 <표 II-6>에 제시하였다. 2.3 kW/m²의 복사열 크기는 1분 이내에 피부 통증을 느끼는 정도로서 액면화재에서의 복사열에 따른 위험 기준값

<표 II-6> 복사열의 크기에 따른 피해 영향

복사열 크기		복사열의 영향 상세
(kW/m ²)	(kcal/m ² ·h)	
0.9	800	여름철의 태양빛에 의한 복사열
1.3	1,080	인체에 안전한 장시간의 폭로 크기
2.3	2,000	액면화재의 기준값으로 60초 미만에서 통증을 느낌
4.0	3,400	피부에 수포가 발생할 수 있으며 20초 이내에 통증을 느낌
4.6	4,000	장시간의 폭로에 의해 목판이 발화할 수 있음
8.1	7,000	10~20초 동안에 화상이 발생
9.5	8,200	고통의 한계는 8초이며, 20초 안에 2도 화상을 입음
11.6	10,000	파이어볼의 기준값(경계치)
12.5	10,800	나무 조각의 발화 또는 플라스틱 튜브의 용융
25.0	21,500	목재가 장시간 폭로에 의해 자연발화 가능 최소에너지
37.5	32,300	공정설비, 기계의 손상이 일어날 수 있는 크기

으로 정하고 있다. 반면에 증기운폭발(UVCE ; Unconfined Vapour Cloud Explosion)이나 비등액체 증기운폭발(BLEVE ; Boiling-Liquid Expanded Vapour Explosion)과 같이 저장탱크의 유증기 가스 등이 다량으로 누출되어 착화된 경우에는 파이어볼(Fireball)을 형성하는데 특히 화염에 의한 복사열의 영향으로 인적, 물적 피해가 발생할 수 있다. 파이어볼에 의한 복사열의 피해영향 기준값은 11.6 kW/m^2 ($10,000 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$)가 사용되고 있다. 복사열 크기는 단위 시간 동안에 인체에 폭로되는 열량과 폭로시간에 의해 결정되며 피해영향은 통증 또는 화상으로 나타난다. 또한 일반적으로 복사열 크기(Radiant intensity, E, W/m^2)는 폭로 시간(Exposure time, T)에 따라 변화하는데 관계식은 $E = A \cdot T^n$ 으로 나타내며, 관계식에서의 A와 n은 각각 복사열의 측정조건에 의해 정해지는 계수이다.

3) 위험장소 구분을 위한 폭발특성 기준값

폭발위험장소에서 누출된 가스 등에 의한 화재폭발 시에 인체 피해영향 기준을 고려하여 위험장소 구분을 정량적으로 평가할 수 있다. 이를 위해 폭발특성값을 활용하여 “무시할 수 있는 범위의 구역”으로 구분할 수 있는 판정 기준값이 필요하다.

저장탱크의 크랙이나 배관 손상으로 가스 등이 누출되어 일어난 폭발에 따른 과압으로 평가하는 경우에는 <표 II-7>과 같이 2.1 kPa을 기준값으로 할 수

<표 II-7> 폭발특성에 따른 위험장소 구분 기준

구분		위험장소 구분을 위한 기준값
폭발 과압		2.1 kPa
복사열	액면화재	2.3 kW/m^2
	파이어볼	11.6 kW/m^2

있다. 과압의 평가 결과 2.1 kPa보다 작은 경우에는 “무시할 수 있는 범위의 구역”으로서 누출원 발생 장소를 비 위험장소로 구분하여 나타낼 수 있다. 복사열의 경우에는 액면화재 또는 증기운 폭발에 따라 복사열의 안전 기준값이 달라진다. 액면화재에서는 2.3 kW/m^2 의 기준값을 가지며 유증기 등의 누출원이 착화에 의해 유증기 화재폭발을 일으키는 피해영향 기준값은 11.6 kW/m^2 가 사용되고 있다. 본 연구에서는 액면화재 기준값으로서 2.3 kW/m^2 는 <표 II-6>과 같이 1분 이내에 통증을 느끼는 위험기반(Risk-based) 안전 기준으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 파이어볼의 기준값은 11.6 kW/m^2 을 경계로 하여 화재폭발 발생에 따른 현실적이며 수용 가능한(Reasonable risk) 피해영향 평가를 고려하여 위험장소를 구분하는 경우에 판정기준으로서 사용하는 방안을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 폭발위험장소 설정 및 위험도 구분 조사

.....

Ⅲ. 폭발위험장소 설정 및 위험도 구분 조사

1. 폭발위험장소 구분 및 판정 기준

폭발위험장소 구분 및 판정기준에 대하여 국외 관련 코드를 중심으로 2차 누출원과 같은 위험장소의 설정 및 “무시할 수 있는 범위의 구역(Negligible Extend ; NE)”의 구분 사례에 대해서 조사하였다. 또한 비방폭 전기기기의 조합의 사용에 따른 위험장소 구분에 미치는 영향 등에 대해서도 함께 조사하여 관련 내용을 검토하였다.

1) BS EN 60079-10-1:2015

영국 안전보건연구원(Health and Safety Laboratory ; HSL)에서 규정하고 있는 폭발위험장소 구분에 대한 기준은 “BS EN 60079-10-1:2015 Explosive atmospheres — Part 10-1:Classification of areas — Explosive gas atmospheres”가 사용되고 있으며 이는 IEC-60079-10-1 (2015)에 기반하고 있다. IEC-60079-10-1은 국내 방폭기준에 채택된 규정으로서 방폭구분에 대한 세부적인 사항보다는 일반적인 사항으로 구성되어 있다. 그러므로 이러한 규정을 다양한 조건의 폭발위험방소에 적용하고 활용하기 위해서는 많은 경험과 훈련 그리고 시간이 소요된다. 영국의 HSL에서는 다양한 가연성 가스(프로판, 도시가스, 수소가스, LPG, 암모니아, 부탄, 냉매 가스 등)의 누출원에 대한 가스-공기 혼합기의 누출량과 누출가스의 체적, 그리고 자연 환기율에 대한 계산을 통하여 폭발위험장소를 구분하기 위한 소프트웨어(Quadvent-2)를 개발하였으며 사업장 등에 유료(£2,250/year)로 제공하고 있다. 또한 영국 HSE(Health and Safety Executive ; 안전보건청)는 Derbyshire주의 Buxton에 있는 교육시설에서 폭발위험장소 구분에 대한

정기교육 세션과 이에 활용되는 소프트웨어(Quadvent-2)의 활용에 대한 교육을 제공하고 있다. 다양한 공정에서의 위험장소 구분과 관련되는 문제에 대해서는 사업장의 사용자를 고려한 맞춤형 교육과 컨설팅도 함께 제공하고 있다. 그러나 영국에서는 폭발위험장소 구분과 관련한 가연성 가스의 누출 속도, 누출 시간 등에 대한 상세한 자료의 측정방법이나 위험장소 및 비위험장소에 대한 평가방법의 일반적인 규정은 존재하지 않는다. 폭발위험장소 관련 자료수집에 대한 방법이나 평가 방법은 산업 종류나 사업장의 규모에 따라 다양하기 때문이다.

2) EI-15

EI 15:2005(EI Model Code of Safe Practice in the Petroleum Industry, Part 15)는 영국 에너지기술연구소(Energy Institute, Technical Department ; EI)에 의해 개발되어 보급된 표준으로 국제적으로 IEC 60079-10-1의 세부 기준으로 활용하고 있다. EI 15(2005)에서는 위험장소 구분을 위하여 직접 누출원 접근법(Direct example approach), 점 누출원 접근법(Point source approach), 그리고 위험성평가 기반 접근법(Risk-based approach)의 3가지 평가 기법을 적용하여 사용하고 있다. 직접 누출원 접근법은 일반적인 설비에 주로 사용되고 있는 기법이며 점 누출원 접근법은 대부분의 누출 상황에 적용이 가능한 방법이다. 또한 위험성평가 기반 접근법은 점 누출원 접근법에 의한 2차 누출등급에 따른 위험장소의 구분 범위를 줄이기 위하여 사용되는 선택적 방법이라고 할 수 있다. EI 15(2005)에서는 인화성 액체를 취급, 저장하고 있는 설비 주변의 위험장소 구분에 필요한 지침을 제공하거나, 적합한 전기설비의 선정과 이에 관련된 점화원 위치를 결정하기 위한 기본적인 위험장소 구분 기준을 제공하고 있다. 또한 석유화학 산업과 관련 동종분야 산업에서 일어나고 있는 화재폭발 위험성과 유사한 인화성 액체의 취급장소에만 적용되며, 가연성 분진에 의한 화재폭발 위험장소나 인화성액체의 취급에 의한 건강장해 위험성평가는 대상으로 하지 않는다.

그리고 고온 조건에서 인화성 액체의 확산과 완전히 다른 확산 특성을 갖고 있는 저온 또는 극저온의 인화성 액체의 누출 시에도 적용되지 않는다. 반면에 누출된 인화성 액체 증기가 대기 온도로 방출되는 조건에서는 적용이 가능하다. 인화성 액체의 폭발위험장소 구분을 위해서는 EI 15(2005)에서 지원하고 EI계산에 적합한 확산모델을 사용하여 보다 상세한 계산이 요구된다. 누출된 증기나 가스의 누출량이 매우 적더라도 화재폭발에 따른 인적, 물적 피해가 예상되므로 피해영향을 조사하기 위한 정량적 위험성평가가 필요할 수 있다. 그러므로 누출원이 발생하는 장소에서 시설 등의 장해조건으로 신속한 피난이 쉽지 않은 경우에는 증기나 가스의 누출량이 작더라도 폭발위험장소로 구분하는 것을 권장하고 있다. 일반적으로는 <표 Ⅲ-1>과 같이 옥내, 옥외에 있어서 기준값보다 적은 누출량에서는 비폭발위험장소로 구분하는 것이 가능하다. 참고로 EI-15의 (부록 E)에는 소규모 설비에서의 위험장소 구분에 대하여 상세한 사항을 설명하고 있다. 그러나 <표 Ⅲ-1>에 있어서 인화성액체의 저장용기의 종류는 다양하므로 각 저장용기에 따른 위험장소 구분은 저장 장소의 주변 환경과 피난장소의 조건을 고려하여 결정하는 것이 필요하다.

<표 Ⅲ-1> 누출량에 따른 폭발위험장소 구분 기준값

구분	기체(1기압 환산값), L	액화가스, L	인화성 액체, L
옥내	50	5	25
옥외	1,000	100	200

3) NEFA 497

NFPA 497:2012(Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, vapors and of hazardous locations in electrical installations at chemical process areas)에서는 인화성 가스 또는 증기, 인화성 액체 또는 인화성액체를 처리하거나 취급하는 장소 및 전기설비에 의

한 점화 위험이 있는 환경에서의 누출이 있는 폭발위험장소에 설치하는 전기 설비의 선정을 위해 적용되고 있다. 또한 인화성 가스 또는 증기, 인화성 액체 또는 인화성액체에 대한 적절한 정보를 제공하며 본 지침서는 가이드로써 적절한 공학적 판단을 필요로 한다. NFPA 497(2012)에서는 개구부 크기, 환기 등의 계산에 필요한 조건이나 설정을 위해 다양한 경험적 요소와 공학적 판단이 요구되고 있다. 또한 환기량의 적정값으로서 6회 순환/hr, 풍량은 1 cfm (1.699 m³/hr), 그리고 누출 증기의 혼합물 농도가 폭발하한농도의 25%이하가 되도록 누출 농도가 유지되도록 하는 환기율에 대한 지침도 제공하고 있다. 본 규정에 있어서 양호한 환기가 될 수 있도록 정비된 밀폐 배관 시스템이 설치되어 있는 장소, 누출원이 될 수 있는 밸브 및 피팅, 플랜지가 없는 배관시스템이 설치된 환기 미흡의 장소가 비 폭발위험장소에 해당된다. 옥외 장소에서의 환기가 적합한 장소의 예로서는 건물 주변에 수평 또는 수직으로의 공기 자연순환에 방해가 되는 장애물이 존재하지 않는 건물이나 공간이 이에 해당된다. 옥외에서 가스 등의 누출량이 947 mL/min 의 경우에는 해당 위험장소는 가스 검지기 등을 사용하여 농도를 측정하기가 쉽지 않다. 누출된 인화성 액체 및 가스의 양은 폭발위험장소 구분 및 방폭 반경을 결정하기 위해 중요한 자료가 되며 이를 위한 경험적 및 공학적 판단이 요구된다. 반면에 NFPA 497(2012)에서의 폭발위험장소 설정의 목적이 주로 전기설비의 설치에 관련되어 있기 때문에 피해영향 평가 목적의 위험장소 구분과는 다소 부합되지 않을 수 있다.

4) API 505

API Recommended practice 505 (Classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as class 1, Zone 0, Zone 1, and Zone 2)에서는 ‘전기설비의 선정 및 설치를 위한 석유화학설비에서의 폭발위험장소 구분을 위한 지침을 제공함을 목적으로 한다. 또한 API 505의 활용에 있어서 관련 전문가의 판단 및 경험이 필요하다

고 권장하고 있다. API 505의 경우에도 NFPA 497(2012)과 유사하게 전기 설비의 선정과 설치에 필요한 위험장소 구분 방법을 제시하고 있기 때문에 폭발위험장소에서의 피해영향 최소화를 위한 목적과는 방향성이 다르다는 특징을 가지고 있다.

2. 소량 누출원의 위험장소 구분 기준

한국산업표준 폭발위험장소 구분(KS C IEC 6079-10-1 ; 2015) 규격에서는 4.3(위험성평가)항의 비고 1에는 “무시할 수 있는 정도(Negligible extent ; NE)”에 대한 내용이 기술되어 있으며 구체적인 내용을 보면, “천연가스 운(Natural gas cloud)의 평균농도가 폭발하한계(Lower Flammable Limit, LFL)의 50%인 부피 0.1 m³ 또는 밀폐공간의 1.0%(어느 쪽이든 작은 쪽) 이하의 부피를 말한다.”고 제시하고 있다. 그러나 본 규격에서는 LFL의 50%인 부피를 결정하는 방법은 제시하고 있지는 않다. 또한 본 규격의 3.4.1.4항의 “증발품의 증발률 산정”의 항목에는 “임계온도가 영하 50℃ 미만인 액화가스가 소량 누출되는 경우에는 주위로부터 열을 흡수하여 신속하게 증발되므로 액체 풀을 형성하지 아니하는 것으로 본다”라고 제시되어 있다. 위험물질을 소량으로 사용하고 있는 실험실 등의 취급 시설에 대해서는 “KS C IEC 6079-10-1 ; 2015”의 규격을 적용하는 경우에 세부적인 기준이 없기 때문에 규정의 적용 상에 있어서 어려움이 있다. 이에 대한 개선 방안을 조사하기 위하여 위험물질의 소량 취급 시설에 관한 국외의 폭발위험장소 구분 관련 규격이나 기준들을 함께 살펴 볼 필요가 있다. 한국산업표준 폭발성분위기 장소구분 규격의 6.2항(누출원)의 내용에서 “실험실과 같이 잠재 폭발위험조건이 존재하더라도 누출될 수 있는 인화성 물질의 양이 적은 경우에는 이와 같은 폭발위험장소 구분 절차를 적용하는 것이 부적절할 수 있다. 이러한 경우에는 관련된 특정 요인을 고려하여야 한다.”고 규정하고 있으며, 소량의 위험물질 취급시설에 대한 기본적인 개념을 제시하고는 있지만 이에 대

한 세부 기준은 나타나 있지 않다. 그러나 본 규격의 부록 C.4.6항(비산 누출) 항목에서는 소량 누출이 발생하여 가스 등의 농도 축적이 일어날 수 있는 환경조건에서는 적합한 환기방법을 갖추도록 규정하고 있다. 예를 들면, 비산 누출은 가스 또는 증기가 압력용기의 누출부로부터 소량 누출(10-7~10-9 kg/s의 누출량 크기)이 일어나는 경우를 나타낸다. 이러한 소량 누출의 경우라도 밀폐된 작업장 등의 공간에서는 환기가 이루어지지 않으므로 농도 축적이 일어날 수 있으므로, 비산 누출은 누출과정에서 가스 등의 농도가 축적되어 화재폭발이 발생할 수도 있다. 그러므로 시험분석이 행해지는 실험실이거나 밀폐 장소(고압의 가스 계통이 존재하는 밀폐 공간이 존재, 방수형 용기 및 계기용 패널, 단열된 가열 용기 및 파이프 설비)와 같이 특정 장치나 설비의 경우에는 주의가 요구된다. 이러한 장치나 설비에서는 임계 시간(Critical time) 내에 가스 등의 환기나 가스 분산에 필요한 장치를 설치해야 한다. 이러한 환기 및 분산 장치의 설치가 현실적으로 힘든 경우에는 용기 외부에 가스 등의 누출원이 놓이도록 개선대책을 실시해야 한다. 이러한 개선대책의 예로서 배관의 접속부분을 잠재적인 누출 위험요인이 될 가능성이 있는 다른 장치 등과 함께 격리된 용기 외부에 설치하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. API RP 505(8.2.8 ; 실험실, 실험건물 및 분석건물)에는 소량의 위험물질을 취급하는 실험실이나 실험건물, 그리고 시험분석 건물에 있어서의 폭발위험장소 구분에 관련된 기준을 제공하고 있다. 본 규정에 대한 사용 조건으로는 NFPA 45(Standard on fire protection for laboratories using chemicals)의 규정에 맞도록 설계, 설치된 실험실과 실험건물은 API RP 505 기준의 폭발위험장소 구분에 대한 조건을 만족하는 경우를 제시하고 있다. 또한 API RP 505에서는 액체, 증기, 가스 등의 인화성 물질이 분석에 필요한 배관을 통해 실내나 건물의 내부로 유입하는 경우, 인화성 물질이 4 L 이하의 경우로서 분석에 필요한 시료 용기가 실내 또는 건물 내에 있는 경우, 실험 분석용 위험물질 저장의 경우 등에서의와 같이 실험실 및 실험건물의 개방 상태, 환기조건 등의 기준에 따라 적합한 대책방안을 제안하고 있다. 소량의

액체, 증기, 가스 등의 인화성 물질의 분석을 위해서 배관을 거쳐서 실험실이나 건물 내부로 유입되는 경우에 있어서 실험실 등의 폭발위험장소의 구분 방법은 이하와 같다.

- 1) 최소한의 공기치환율이 6회/hr 미만의 환기 조건에서는 실험실의 내부 전체를 1종 장소로 구분한다.
- 2) 최소한의 공기치환율이 6회/hr 이상의 환기 조건에서는 실험실 내부를 모두 2종 장소로 설정해야 한다. API RP 505(3.1.50항)에서 규정하는 적절한 환기 조건은 “증기혼합물 농도가 폭발하한농도의 25%를 넘어서 농도 축적을 방지하는데 필요한 충분한 환기량”으로 제시하고 있으며, 본 조항과 유사한 NFPA 497(3.3.1항)에서의 적절한 환기조건은 “단위 면적(m^2)에서의 $0.3 m^3/min$ 이상의 환기량이 제공되거나 증기 혼합물 농도가 폭발하한농도의 25%를 넘어서 농도 축적을 방지하는데 필요한 충분한 환기량”으로 규정하고 있다.
- 3) 최소한의 공기치환율이 6회/hr 이상의 환기 조건에서는 가스감지 경보기를 설치하고, 만일의 환기 작동이 실패하는 경우로서 2종 장소에 부적합한 모든 전기설비에 대해 전원 공급을 자동 차단되도록 설치한 경우에는 실험실 등의 내부를 비 폭발위험장소로 구분한다.

또한 가스감지나 내부 환기의 실패 시에는 실험실 내부로 공급하는 모든 공정 공급라인이 자동적으로 차단되게 해야 한다. 실험실 내부의 가스감지 장치는 가스 등의 누출원 물질을 정확하게 감지 가능하도록 설치해야 하며 2종 장소에 적합한 방폭형 제품을 사용해야 한다.

4리터(1 갤런) 이하의 액체, 증기, 가스 등의 인화성 물질의 시료 용기가 시험분석을 위해서 실험실 내부나 실험실 건물에 있는 경우에는 이하와 같이 조건이 적용되어야 한다.

- 1) 최소한의 공기치환율이 6회/hr 미만의 환기 조건에서 시료 용기가 개방된 구조로 사용하는 경우에는 실험실 내부는 2종 장소로 구분한다. 그러나 시

료 용기가 NFPA 45의 기준에 따라 설계, 설치되어 있는 흡 후드 안에서 이송, 분석 등이 사용되는 경우에는 후드 외부는 비 위험장소로 구분할 수 있다.

- 2) 최소한의 공기치환율이 6회/hr 이상의 환기 조건에서, 환기가 부적절한 경우에는 위험분위기의 농도 형성을 예방하거나 2종 장소에 부적합한 전기설비 전원을 차단하기 위한 긴급조치가 이루어지도록 하고 경보장치가 작동되는 경우에는 실험실 내부를 비위험장소로 구분할 수 있다.

실험 또는 분석용 위험물질을 저장하는 개방 및 폐쇄지역(Non enclosed and enclosed areas)의 실험실, 캐비닛 및 라커 등에는 이하와 같은 사항이 적용된다.

- 1) 환기의 적합성 여부, 개방 또는 사용제한 지역 등과 상관없이 실험분석용의 인화성 또는 가연성 등의 위험물질을 저장하는 용기가 미국 에너지부(DOT)의 승인을 받아 밀폐 용기에 저장되어 있는 경우에는 해당 지역은 비위험장소로 분류할 수 있다.
- 2) 환기 적절성과 관계없이 사용제한 지역에 실험분석용의 인화성 또는 가연성 등의 위험물질량이 4리터를 초과하여 미국에너지부(DOT) 승인을 받지 않은 밀폐용기에 저장하는 구역의 내부는 2종 장소로 구분한다.

실험분석용의 인화성 또는 가연성 등의 위험물질 전체 사용량이 4 리터 이하에서는 해당 지역을 비위험장소로 구분한다. 또한 사용 시료를 인화성 용제와 혼합하는 실험방법이나 분석업무, 그리고 실험용 기구들을 용제로 세척하는 업무 또는 세척제 등과 같은 개방상태에서의 위험물질이 존재하는 지역에는 이하와 같은 사항을 적용한다.

- 1) 개방구조로서 적절한 환기가 이루어지는 지역에서는 실험 분석을 위해 위험물질이 사용되는 경우에는 비위험장소로 구분된다.
- 2) 밀폐된 구조로서 환기가 적절한 지역에서 실험분석을 위해 인화성 및 가

연성 액체 등의 위험물질이 사용되는 경우에는 2종 장소로 구분한다. 그러나 적절히 환기가 되고 있는 밀폐 지역에서는 개방 용기 내의 위험물질의 총량이 4리터 이하에서는 비폭발위험장소로 구분되며, 또한 적절한 환기 및 밀폐 지역에서 인화점 미만의 가연성 액체를 사용하는 경우에는 비위험장소로 구분된다.

- 3) 밀폐 구조로서 부적절한 환기 지역에서는 인화성 액체 및 가연성 액체를 실험분석용으로 사용되는 경우에는 1종 장소로 구분한다.
- 4) 밀폐 구조의 부적절한 환기 지역에서 개방조건의 시료작업이 연속적으로 이루어질 수 있으며 인화점 이상으로 해당 물질을 취급하면, 0종 장소로 구분된다.
- 5) 밀폐 구조로서 환기가 부적절한 지역에서 NFPA 45규격에 맞도록 설계되어 제작된 흡 후드는 그 내부에서 인화성 액체, 증기, 가스를 취급, 사용하는 경우에는 후드 외부지역은 비폭발위험장소로 구분된다.

실험실의 폭발위험장소 구분 및 설정과 관련하여 HSE Guideline(Health and Safety Executive(HSE), Hazardous area classification and Laboratory operations)에서는 기본적인 규정을 제시하고 있다. 인화성 액체, 인화성 가스 및 액화 인화성 가스 등의 위험물질이 사용되는 실험실에서 폭발위험장소 구분에 대한 관련 내용을 요약하면 이하와 같다.

- 1) 50 mL 이하의 소규모 인화성 액체를 취급하는 경우에는 폭발위험장소 구분 대상으로 적절하지 않으며, 50 mL 이상 ~ 2.5 L 이하의 인화성 액체를 취급하는 중규모인 경우에는 적절한 화재폭발 예방대책이 마련된 조건에서는 위험성평가를 통한 폭발위험장소 구분이 필요하지 않다.
- 2) 액화 인화성 가스의 취급에서는 환기 시스템이 취급설비 주변에서 상시 적절하게 작동해야 하며 해당 지역을 2종 장소로 구분해야 한다.
- 3) 가정용 등과 같은 저압의 인화성 가스배관은 가스 누출에 따른 화재폭발 발생위험이 있다고 하더라도 폭발위험장소에 해당되지 않는다. 인화성

가스의 취급 장소의 환기장치 설치 여부, 환기에 의한 관리 가능한 누출 크기 및 신뢰도, 가스 누출 위험성의 최소화 방법, 가스 누출 시의 신속한 감지방법과 적절한 안전조치 등을 고려하여 위험성평가를 실시해야 한다. 또한 소량의 인화성가스 누출은 환기 시스템에 의해 안전하게 확산, 배출되지만, 누출 물질의 가스농도 축적으로 착화가 일어나면 심각한 화재폭발로 이어질 수 있으므로 농도 축적의 예방 관리가 필요하다.

- 4) 실험실의 2 L 이상의 가스 저장장치 및 파일롯 플랜트의 50 L 이상의 가스 저장장치에서는 보다 주의가 요구된다. 누출 가스의 착화 위험성 관리 방법은 누출 시의 인화성 증기의 확산 범위를 강제 환기나 공간적 격리를 통해 제한해야 하며 모든 전기설비는 위험구역 외부에 가급 멀리 설치해야 한다. 이러한 방법으로 폭발위험장소 범위를 작게 관리 해야 한다.

이상과 같이 소량의 위험물질 취급 시설의 폭발위험장소와 관련한 국외 규격의 내용을 정리하면 다음과 같다. API RP 505에서는 다양한 사용 조건 및 상황에 따라 기준을 제시하고 있으며 영국의 EI 15 기준에서는 위험물질의 취급량에 따라 기준을 규정하고 있다. 반면에 한국산업표준 폭발성분위기 장소 구분(KS C IEC 60079-10-1:2015) 및 NFPA 497 기준에서는 소량의 위험물질 취급 시설에서의 어떤 기준도 제시하고 있지 않다. HSE에서는 실험실의 폭발위험장소 구분 시에 참고할 수 있는 화학물질 종류 및 취급 물질량에 따른 기본적인 지침을 제공하고 있다. 또한 비방폭 전기기기를 소량 누출원이 존재하는 위험장소에서 사용하는 경우에는 폭발 위험이 존재하는 범위가 좁고 지속 시간도 짧은 상황에서는 누출원의 주변 환경에 대해 가스 감지기 등을 활용하여 감지하도록 하고 폭발성 가스의 농도가 폭발하한농도의 25 % 이하의 경우에만 가스 감지기와 연동을 갖게 하면 비방폭 전기기기를 비정상작업과 같은 단시간 내에서 사용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

3. 위험장소의 비방폭 전기기기의 관리 방법

비방폭 전기기기를 폭발위험장소에 도입하여 사용하는 경우에는 우선적으로 비방폭 전기기기에 대한 위험성평가가 필요하다. 신규로 비방폭 기기를 도입함에 있어서는 도입하는 부서가 지침, 자율안전 계획에 따라 안전 대책을 결정하고 위험성평가를 통해 사업장의 안전관리책임자의 승인을 받아서 장비를 사용해야 한다. 안전관리책임자에 의해 승인된 비방폭 전기기기는 안전관리 부서가 목록을 관리하고 사업장 내에서 자료를 공유하도록 한다. 비방폭 전기기기 목록에는 장비 명칭, 대수, 정격 전류, 전압, 전력, 적합한 전기규격, 담당부서, 승인 날짜 등을 기록한다. 담당부서는 내용에 변경이 발생한 경우에는 즉시 안전관리부서에 연락해야 한다.

이동식 비방폭 전기기기의 사용에 있어서 유의할 점은 다음과 같다. 이동식 비방폭 전기기기의 사용 조건으로는 포터블 가스 검지기를 휴대하도록 자율안전 규칙을 세우고 준수하도록 해야 한다. 이동식 비방폭 전기기기를 사용할 때에는 작업개시 전의 점검으로서는 외관 검사와 작동 확인을 실시한 후에 사용한다. 이상을 발견되었을 경우에는 사용을 중지하고 수리를 의뢰한다. 위험성평가 결과, 비위험장소로 판정된 구역에서는 그 구역 내에서 이동식 비방폭 전기기기의 배터리 탈부착을 금지하고 계측실이나 사무실 등의 안전이 확인되고 정해진 장소에서 배터리 교환을 실시한다. 또한 충격 방지의 관점에서 이동식 비방폭 전기기기는 어깨걸이 끈을 장착하는 등의 낙하방지 조치를 강구해야 한다.

이동식 비방폭 전기기기를 사용하는 과정에서는 휴대용 가스 검지기를 휴대하고 상시 작동시켜 가연성 가스의 유무를 수시로 확인한다. 만일 사용 중에 휴대용 가스 감지기의 1단계 경보(10 % LEL)가 발령되면 즉시 이동식 비방폭 전기기기의 전원을 차단하고 안전한 장소로 대피한다. 이러한 사용 방법 및 유의사항을 통하여 폭발하한농도의 25 % 이하에서의 사용 환경을 확보해야 한다. 아울러 휴대용 가스 검지기의 기능 확인으로서 표준가스를 사용하여

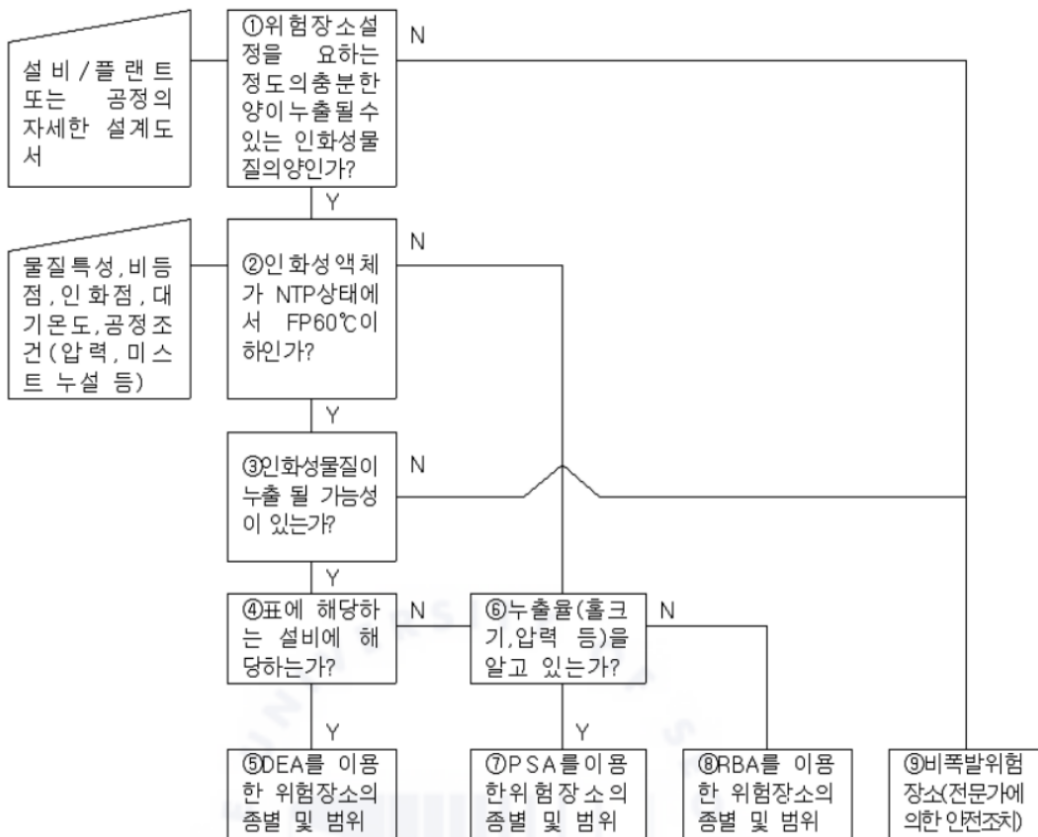
평상시에는 사용 당일에 사용 전 점검으로 최소 1회, 이상 발생(낙하 등에 의한 강한 충격 등) 시에는 휴대용 가스감지기가 정상 작동하는지를 확인한다. 고정식 비방폭 전기기기를 사용하는 경우에는 이동식 비방폭 전기기기와는 다르게 사용 구역을 특정할 수 있기 때문에 가스 등의 누출원을 정하여 위험성평가를 실시한다.

4. 위험장소 구분을 위한 위험성평가

위험장소의 설정에는 다양한 방법이 있으며 국외 관련 지침에서 제시하고 있는 다양한 누출원 기법을 적용하기가 어려운 경우에는 위험성평가(Risk Assessment)를 적용하여 폭발범위를 구분하는 방법을 활용할 수 있다. 폭발 위험장소 구분에 모두 적용 가능한 일반적인 방법은 존재하지 않으며, 평가 결과만으로 단순히 위험장소가 정확하게 구분되었다거나 잘못되었다고 판단할 수는 없다. 작업 및 공정 변경이 추가된 기존 설비의 위험장소 구분에 있어서는 보다 세밀한 위험장소 구분과 평가가 필요하다. 그러므로 대부분의 관련 국제 규정에서는 전문가의 판단을 전제로 하고 있으며 위험의 발생 확률(Probability)과 크기(Consequence)를 활용하여 위험성(Risk)을 조사하고 있다. 위험장소 구분을 위한 위험성평가 방법은 누출원의 누출 확률과 설비의 보호장치 등을 활용하여 폭발위험장소를 설정하고 있다. 기본적으로 KS C IEC 60079-10을 기준으로 누출량, 환기등급 등을 조사하고 필요한 경우에는 국외코드(API, EI, NFPA 등)를 참조하여 폭발위험장소 구분과 폭발범위를 결정한다. 보다 정확한 폭발위험장소 구분을 위해서는 가스 등의 취급 장치와 설비의 배치와 운전조건, 누출등급, 환기 등급 및 유효성, 가스감지기 및 경보 장치의 설치 여부와 위치 등의 사항도 함께 검토해야 한다. 인화성 가스 등의 취급장소에 대한 폭발위험장소 구분 시에 누출원과 관련하여 참조 가능한 과거 자료가 없는 경우에는 위험성평가 실시를 통하여 설정할 수 있으며 평가 절차는 [그림 III-1]과 같은 방법으로 수행한다. 구체적인 평가 절차는 이하의

①~⑤의 5단계에 따라 실시한다.

- ① 1단계 : 폭발위험성의 확인과 및 폭발위험농도의 발생 확률을 조사, 결정
- ② 2단계 : 착화위험성의 조사 및 발생 확률의 결정
- ③ 3단계 : 착화에 따른 폭발 발생 가능성의 결정
- ④ 4단계 : 목표 수준의 위험성과 보호등급에 대한 달성 가능성의 평가
- ⑤ 5단계 : 위험성을 저감시킬 수 있는 관리적, 공학적 대책을 수립



[그림 Ⅲ-1] 폭발위험장소 분류를 위한 위험성평가 예시

EI 15의 기준에 따른 위험성평가를 하는 경우에는 장비 및 구성 시스템의 요소, 그리고 공정 단위로 구성된 설비를 포함한 주변 설비까지 확대하여 폭넓게 검토하고, 이하와 같이 내용으로 착화 및 화재폭발의 위험성을 검토한다.

- ① 장비 및 보호 시스템과 관련 구성 요소
- ② 취급 물질 관련의 장비 및 설비, 보호시스템과 구성요소 등의 상호 관계
- ③ 장비 및 보호 시스템, 구성요소 내에서 실행되고 있는 공정

IV. 폭발위험장소 구분을 위한 개선 방안



IV. 폭발위험장소 구분을 위한 개선 방안

1. 폭발피해 평가를 통한 위험장소의 구분

1) 과압 및 복사열에 의한 위험장소 구분

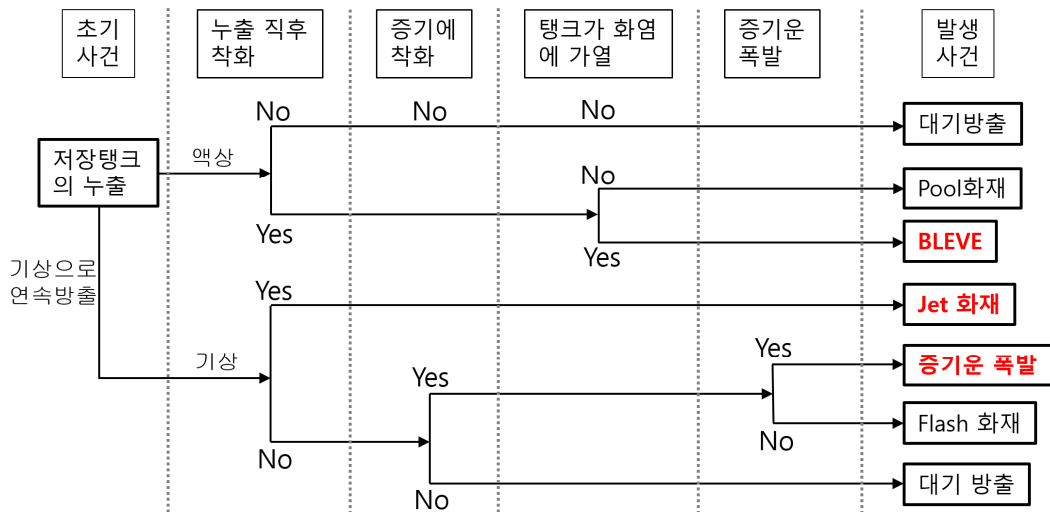
폭발위험장소 구분에 있어서 비용대효율을 고려하면 2차 누출에 따른 Zone 2 및 비방폭구역의 구분 기준이 중요한 문제가 된다. 누출원을 중심으로 가스 농도는 거리에 따라 감소하기 때문에 가연분위기 조건에 있는 증기-공기 혼합기의 농도 분포가 어떠한 범위로 확산되어 있는지 알 수 있다면 화재폭발 피해 예측이 가능하다. 가연성가스가 누출되어 발생할 수 있는 플래쉬 화재에서의 복사열을 추정하기 위한 계산모델은 현재까지 활용 가능한 것이 없기 때문에 일반적으로 확산 가스의 반경 분포에 따른 가연범위의 형성 여부를 통해 화재폭발 피해영향을 평가하고 있다. 폭발한계는 화염이 가연성 혼합기 내를 전파할 수 있는 농도 한계 범위를 의미하고 있으며, 농도 한계 범위 중에서 낮은 농도 한계를 하한농도 그리고 가장 높은 농도 한계를 상한농도라고 하며 화재폭발은 농도 한계 범위에서 발생한다. 누출된 가스 농도가 축적하면 가연 하한농도에 먼저 도달하고 이 조건에서 착화원이 존재하면 화재폭발이 일어나기 때문에 폭발범위 구분에 있어서 폭발하한농도가 중요하다. 가스확산 모델에 있어서 계산 가능한 가스농도는 일반적으로 시간평균농도로서, 실제로 가스가 확산되었을 때의 농도는 시간평균농도값의 0.5~2배의 범위 내에서 변하는 것으로 알려져 있다. 따라서 확산모델을 사용하여 계산한 시간평균농도값이 폭발하한농도의 50 %인 농도라고 하여도 실제 가스농도의 변동으로 인해 화재폭발이 발생할 수 있다는 사실에 주의할 필요가 있다. 또한 화재폭발이 일어나게 되면 과압 만이 아닌 열복사에 의해 작업자에 대한 화상의 피해 영향도 나타날 수 있다. 그러므로 화재폭발 시의 화염에 의한 열

복사의 피해 영향을 함께 조사할 필요가 있으며, 가연성 가스 등의 누출에 따른 허용한계농도는 폭발하한농도의 50 %로 하는 것이 타당하다. 폭발 시의 과압이 인체에 미치는 영향을 보면 가장 피해가 큰 신체부위는 눈 및 귀의 고막이 이에 해당되며, 다음으로 폐와 피부가 큰 피해를 입는다. 이와 같이 폭풍압에 의한 인체의 피해는 과압에 인체가 노출된 경우로서 폭풍압에 파손된 물체의 비산물에 의한 2차 피해도 예상된다. 폭풍압에 인체가 노출되었을 때에 95 %의 발생확률로 피해가 일어나지 않는 최소한계의 폭풍압은 <표 II-5>와 같이 12.3 kPa이 제시되고 있다. 폭풍압에 의한 피해는 Clancey의 연구가 잘 알려져 있는데 (Clancey, 1972), 2.1 kPa에서는 95 %의 확률로 큰 피해가 없는 안전 한계의 기준값으로 제시되고 있다. 위험장소 구분에 있어서 “무시할 수 있는 범위의 구역(Negligible Extend ; NE)”의 판정 기준을 폭발로 인한 과압이 2.1 kPa 이하의 경우로 구분하여 평가할 수 있다. 반면에 가스 등의 화재폭발로 인한 피해 영향으로서 복사열이 있으며 액면화재에서의 화염 복사열이 인체에 미치는 영향한계는 2.3 kW/m^2 가 사용되고 있다. 또한 다량의 가스 등의 누출이 발생하고 폭발에 따른 파이어볼이 발생하면 복사열에 의해 주변 시설물이나 작업자에게 피해 영향을 주는데 복사열의 안전기준값으로서 본 연구에서는 11.6 kW/m^2 의 적용을 제안하였다.

2) 위험장소 구분을 위한 화재폭발 피해평가

폭발위험장소 구분을 위해 복사열 및 과압 위험 기준값을 사용하여 화재폭발 피해평가를 수행하였다. 화재폭발 영향의 피해평가는 다양하게 존재하는 상업용 또는 비 상업용의 화재폭발 시뮬레이션 소프트웨어를 활용하여 평가할 수 있다. 비 상업용의 대표적인 화재폭발 피해평가 프로그램으로서 미국 EPA(환경보호청)와 NOAA(해양대기국)가 함께 개발한 ALOHA를 활용할 수 있다. 본 연구에서는 ALOHA(Ver.5.4.7)를 활용하였으며 사용 빈도가 높은 화학물질의 특성값(물질명, 밀도, 비점, 분자량, 증기압, 임계온도, 임계압력, 열용량, 연소열, 응고점 등)을 본 프로그램에서 기본적으로 제공하고 있으며 새로

운 물질의 특성값 자료를 추가할 수도 있다. ALOHA에는 2종(가우스 확산과 무거운 기체의 확산)의 확산모델을 제공하고 있기 때문에 일정 기상 조건에서 화학물질이 누출되어 대기중에 확산되는 것을 예측하여 가연농도, 과압, 독성, 복사열의 분포 계산을 통하여 피해예측에 대한 평가를 수행할 수 있다. [그림 IV-1]은 저장탱크에서 가스 등이 누출되는 경우에 발생할 수 있는 화재 폭발 위험성을 도식적으로 나타낸 것이다. 저장탱크에서 다량의 인화성 액체가 누출되는 경우에는 BLEVE에 의한 파이어볼을 형성하며 복사열에 의한 위험성으로 나타나며, 가스 상태로 누출되는 경우에는 Jet화재 또는 증기운폭발이 발생할 수 있다.



[그림 IV-1] ALOHA에 의한 화재폭발 위험성 평가

복사열 및 과압 기준값을 사용하여 폭발위험장소 구분에 활용하는 방안을 검토하였다. 이를 위해 액체 프로판이 보관되는 있는 저장탱크의 누출로 인한 화재폭발 발생 시의 피해영향 평가를 수행하였다. <표 IV-1>은 구형 저장탱크의 하부에서 누출된 액체 프로판의 화재폭발 사고 시나리오를 대상으로 복사열 및 과압 분포를 통해 폭발위험장소를 추정하기 위한 계산조건을 나타낸

〈표 IV-1〉 화재폭발 피해평가를 위한 계산 조건

구분	내용
사고 형태	구형 저장탱크의 노후화로 인한 탱크 하부의 균열부에서 액화 프로판이 누출되면서 착화로 인해 화재폭발이 발생
저장탱크	- 지름 2 m, 체적 4.19 m³ - 저장탱크의 누출홀 크기 : 길이(20 cm), 폭(0.5 cm)
프로판	- 물리적 상태 : 가압된 액화상태 - 프로판의 양 : 2,090 kg (100 vol%) - 탱크 내 온도 : 20 °C
기상 조건	- 기온 : 흐림(Complete cover), 20 °C - 습도 : 50% (역전층은 없음) - 풍향 및 풍속 : 북풍(360도), 3.0 m/s - 지표면의 조도 : Urban or Forest

것이다. 〈표 IV-2〉는 열복사 크기에 따라 사람이 느끼는 고통의 정도 및 화상 위험의 기준값을 나타냈다. 판정 기준값인 2.0 kw/m²는 60초 이내에 통증을 느끼는 수준의 복사열이며, 5.0 kw/m²는 60초 이내에 화상을 입는 정도의 복사열, 그리고 10.0 kw/m²는 60초 이내에 사망할 가능성이 있는 복사열을 나타내고 있다. 구형 저장탱크의 노후화로 인해 저장탱크의 하부에 부식이 진행하여 〈표 IV-1〉과 같이 크랙(길이 20 cm 및 폭 0.5 cm)이 발생하여 액화 프로판이 누출한 경우를 대상으로 평가하였다. 이러한 조건에서 프로판의 누출은 3분 동안 지속되었으며 최대평균 유출속도는 981 kg/min으로 나타났으며 총 누출량은 2090 kg이다(그림 IV-2). 누출된 프로판 폭발에서 복사열 위험영역의 계산 결과를 [그림 IV-2]에 나타냈다. 또한 누출량의 100%가

〈표 IV-2〉 열복사에 의한 고통 및 화상 위험의 기준값

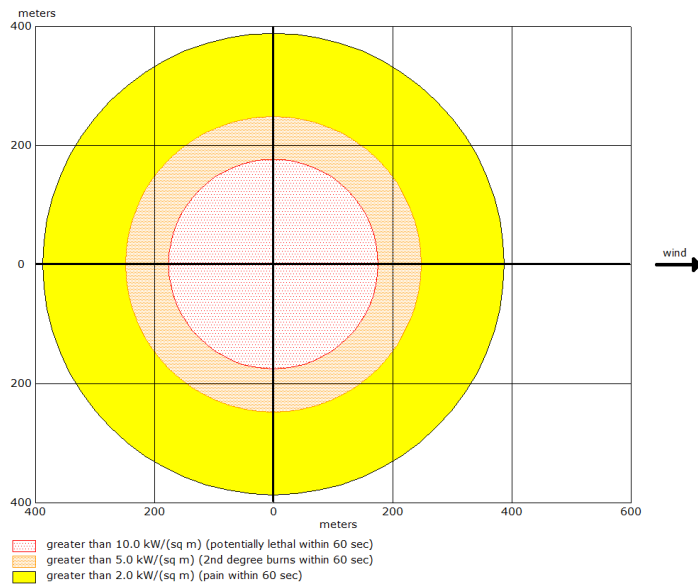
Radiation Intensity (kW/m ²)	Time for severe pain (s)	Time for 2nd degree burns (s)	Refer
1	115	663	
2	45	187	Pain within 60 s
3	27	92	
4	18	57	
5	13	40	2nd degree burns within 60 s
6	11	30	
8	7	20	
10	5	14	Potentially lethal within 60 s
12	4	11	

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in spherical tank
 Tank Diameter: 2 meters Tank Volume: 4.19 cubic meters
 Tank contains liquid Internal Storage Temperature: 20 °C
 Chemical Mass in Tank: 2,090 kilograms
 Tank is 100% full
 Opening Length: 20 centimeters Opening Width: 0.5 centimeters
 Opening is 0 meters from tank bottom
 Release Duration: 3 minutes
 Max Average Sustained Release Rate: 981 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 2,090 kilograms
 Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%
 Fireball Diameter: 74 meters Burn Duration: 6 seconds

[그림 IV-2] 프로판의 누출특성 계산 결과

연소반응에 기여한 것으로 가정한 경우에 파이어볼의 직경은 74 m, 화염의 지속시간은 6 s가 얻어졌다. 프로판 폭발에서의 복사열 위험영역의 계산 결과를 [그림 IV-3]에 나타냈다. 프로판 폭발 시의 열복사 위험구역은 <표 IV-3>과 같으며 60초 이내에 심한 통증을 느끼는 정도의 복사열(2.0 kW/m^2)은 누출원으로부터 387m로 나타났으며 60초 이내에 사망할 가능성이 있는 복사

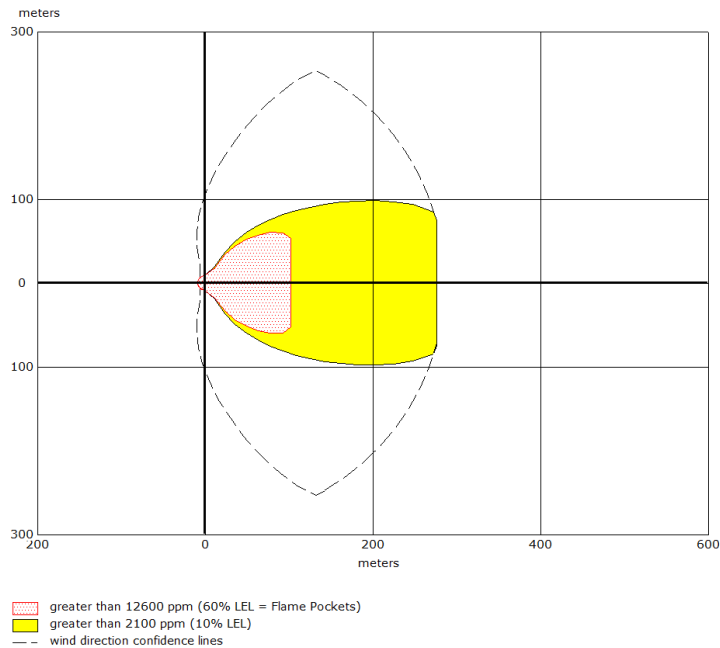


[그림 IV-3] 프로판 폭발에서의 복사열 위험영역의 계산 결과

<표 IV-3> 프로판 폭발 시의 열복사 위험구역

Radiation Intensity (kW/m^2)	Distance of thermal radiation from firewall (m)	Refer
2	387	Pain within 60 s
5	248	2nd degree burns within 60 s
10	176	Potentially lethal within 60 s

열(10.0kw/m^2)은 증기운 폭발지점으로부터 176 m의 거리에 나타났다. 프로판의 폭발범위 가능 구역의 계산 결과를 [그림 IV-4]에 나타냈다. 폭발범위 구역은 누출원을 중심으로 바람 방향으로 확산하는 형태를 가지고 있다. 저장탱크의 파열 홀(길이 20 cm 및 폭 0.5 cm)을 통해 프로판이 전량 누출하는데 소요되는 시간은 3분, 최대평균방출속도는 981 kg/min 으로 계산되었다. <표 IV-4>와 같이 폭발하한농도(LEL)의 60% 농도(1.26 vol%)가 형성되는



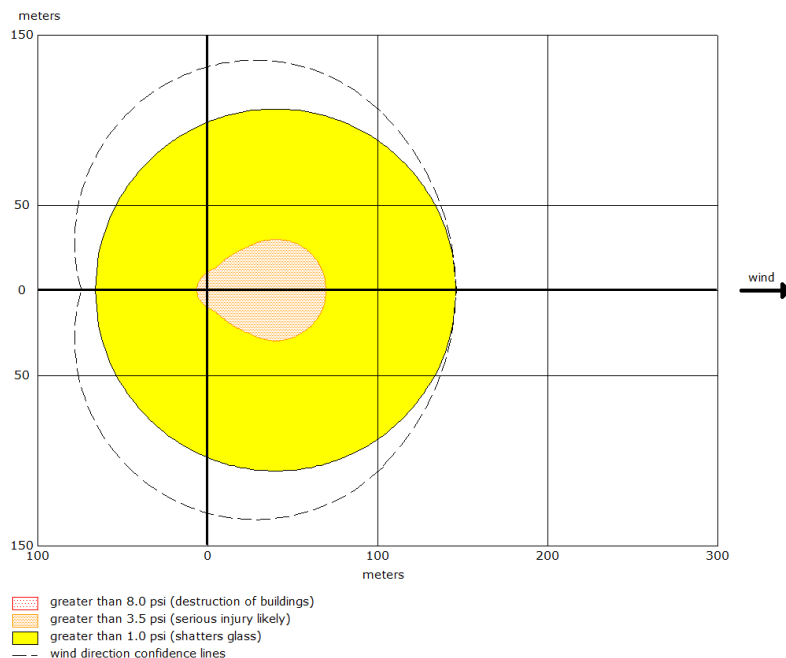
[그림 IV-4] 프로판의 폭발범위 구역의 계산 결과

<표 IV-4> 프로판 폭발범위 가능 구역의 계산 결과

LEL	Concentration (vol%)	Distance of Leak hole (m)
60% of LEL	1.26	103
10% of LEL	0.21	276

구역은 누출원에서부터 풍속 방향으로 103 m 되는 지점이며, 10% 농도 (0.21 vol%)의 구역은 누출원에서 276 m의 지점까지이다. 이러한 계산 결과를 통해 폭발위험장소의 해당 구역을 대략적으로 추정할 수 있다.

폭발에 의한 과압피해 영향을 평가하기 위하여 프로판 가스의 60 % LEL 영역에서 착화원에 의한 폭발의 과압분포 영역을 조사하였다. [그림 IV-5]는 프로판의 폭발과압에 따른 위험영역의 계산 결과이며, 누출원으로부터의 거리에 따른 폭발과압 위험구역은 <표 IV-5>와 같다. 프로판의 누출로 인한 증기운 폭발 발생 시에 건물 파괴가 일어나는 8.0 psi 이상의 위험구역은 발생하지 않았다. 그러나 커다란 인적 피해가 발생할 수 있는 3.5 psi의 위험구역은 바람 이동 방향으로 70 m 지점까지 확대될 수 있는 것으로 나타났다. 유리가 파손되는 1.0 psi의 위험구역은 바람 방향의 147 m까지 포함되지만 폭발로 인해 발생하는 위험성이 높은 구역에는 해당되지 않는다.



[그림 IV-5] 프로판의 폭발과압에 따른 위험영역의 계산 결과

〈표 IV-5〉 액화 프로판의 폭발과압 위험구역

Overpressure (psi)	Distance of thermal radiation from firewall (m)	Refer
8	-	Destruction of buildings
3.5	70	Serious injury likely
1.0	147	Shattres glass

이상과 같이 ALOHA에 의한 화재폭발 시뮬레이션을 사용하면 화학물질의 누출특성에 따른 위험장소 구분에 유용하게 활용할 수 있다. 그러나 ALOHA는 비 상업용 화재폭발 시뮬레이션으로서 무료 사용이 가능하지만 활용 시에는 사용상의 주의가 필요하다. 예를 들면 풍속이 매우 작거나 대기가 매우 안정한 경우에는 사용할 수 없으며, 풍향의 변화나 3차원 지형도에의 대응은 고려되어 있지 않다. 또한 누출 발생원과 가까운 지점에서의 평가에는 사용할 수 없다. 대부분의 상업용 화재폭발 시뮬레이션에서도 공통된 사항이지만 ALOHA에서도 폭발 시의 화학반응이 고려되어 있지 않으며 폭발에 의한 비산 위험성도 평가하지 않는다는 점에 유의할 필요가 있다.

2. 폭발위험장소에서의 비방폭 전기기기의의 활용 방안

비방폭 전기기기를 폭발위험장소에서 안전하게 사용하기 위해서는 위험장소에 대한 상세한 위험성평가를 통하여 누출특성 등의 요인을 파악하고 분위기가스의 형성 위험이 없는 비위험장소에서 사용하는 것이 중요하다. 이와 관련하여 사업주는 안전확보에 대한 책임을 가지고 사업장 내에서 비방폭 전기기기의 활용 시에 요구되는 자율안전 추진계획 등의 실천을 전제로 해야 한

다. 현재 가장 현실적이고 안전한 비방폭 전기기기의 사용 방법은 폭발위험장소 구분 규정에 따라 위험성평가를 실시하고 위험장소 범위를 설정하여 비위험 장소에서 사용하는 방법이다. 화학공장의 공정 중에서 설비 개수가 많은 것 중의 하나가 플랜지 배관이 있다. 2차 누출원이 발생할 위험성이 있는 공정 설비를 검토해 보면 대부분의 플랜지 배관은 비위험장소로 판정될 가능성이 높다. 그럼에도 불구하고 누출원이 존재하는 경우에는 플랜지 배관의 누출 위험성을 완전히 무시할 수는 없기 때문에 비방폭 전기기기를 플랜지 배관에서 사용하거나 설치하는 경우에는 휴대용 가스 검지기를 함께 사용하는 것이 권장된다.

폭발성 분위기가스가 존재하는 범위가 좁고 지속 시간이 짧은 누출원의 주변 구역을 가스 감지기로 측정하였을 때에 폭발성 가스농도가 폭발하한농도의 25 % 이하의 경우에만 가스 검지기와 연동을 갖게 하면 비방폭 전기기기를 사용하는 것이 가능하다. 이하에 해당되는 경우에는 비방폭 전기기기의 사용이 가능하다.

- 1) 상시 설치되어 있는 가스검지기 뿐만 아니라, 휴대용 가스검지기를 사용
- 2) 폭발하한농도의 25 % 보다 낮은 농도(예로서 10 %)에서 발령
- 3) 인터록 설치(발령이 일어나면 사용자가 즉시 가스 검지기 및 모바일 단말기 등의 전원을 차단)
- 4) 잔류 에너지의 제거 및 격리
 - (1) 발화원의 격리를 위해 미리 설치된 상자에 수납한다.
 - (2) 수납 Box를 휴대하고 점화원 격리를 위해서 즉시 넣는다.
 - (3) 점화원의 제거를 위해 비 위험 장소까지 이동시킨다.

1) ~ 3)은 휴대용 가스 검지기의 성능이 확인되고 또한 휴대형 가스 검지기와 모바일 기기 등의 전원 차단이 가능하다면 사용자의 사용 환경 조건에 따라 적합 여부의 판단이 가능할 것으로 판단된다.

폭발위험장소 구분 규정에 따라 위험성평가를 실시하였는데 2차 누출원 주변이 Zone 2로 판정되는 경우도 있다. 이러한 경우에는 방폭거리도 평가하므로 위험장소의 범위를 한정할 수 있다. 누출원의 위치와 위험장소 구역의 범위가 명확한 경우에는 상기 2) ~ 4)의 내용은 매우 유효적절하게 활용할 수가 있다. 각종 전기기기 센서를 사용하는 경우에는 폭발위험장소 구분 규정에 따라 위험성평가를 실시하여 위험장소 구역을 설정하고, 비위험장소에 고정식 센서 등을 설치하는 사용법을 적용할 수도 있다. 또한 비위험장소에서의 사용의 경우에는 배터리도 활용 가능하며, 특히 배터리의 발열 검사 및 국외 업체의 방폭전기기기의 도입도 고려해 볼 수 있다.

3. 누출특성에 따른 폭발위험장소 구분 방안

1) 위험장소 구분을 위한 누출특성 기준값

폭발위험장소 범위의 계산은 누출형태와 누출특성(m^3/s)에 큰 영향을 받는다. 로그 그래프의 X축인 누출특성과 만나는 누출형태의 좌표 지점에 해당되는 값이 폭발범위로 결정되기 때문이다. 누출형태(Types of release)는 고속 제트 누출(Jet release), 저속의 확산누출 및 누출 주변과 형상 표면의 충돌에 따른 속도손실 제트 누출, 수평 표면이나 지표면 등에 확산되는 무거운 가스 및 증기와 같은 3가지 형태로 구분된다. 누출특성이 동일한 조건에서 가장 넓은 폭발위험장소는 무거운 가스 또는 증기에서 나타나며, 그 다음으로 저속 확산의 경우이며, 고속 제트의 경우에서 폭발반경은 가장 작아진다. 주변의 풍속은 환기에 영향을 주는 요소로서 고환기, 중환기, 저환기 등의 환기 평가에만 사용되며, 폭발위험장소의 구분 및 범위 결정에 직접적 영향은 주지 않는다. 또한 가스 등의 누출특성은 해당 물질의 밀도에 의한 영향을 크게 받는다. 수소를 예로 들면 수소는 작은 밀도값을 가지고 있는데 동일 누출량 조건에서 증기운 체적이 다른 물질보다 크기 때문에 폭발분위기를 생성하는 위험

반경이 증가하게 된다. 반면에 무거운 가스는 누출 후에 바닥으로 축적되어 쌓이므로 공기 중으로 확산이 적게 일어나므로 증기운의 농도가 감소하지 않으며 넓은 범위의 폭발성 분위기를 가지는 농도 증기운이 형성된다. 그러므로 취급 가연성 물질이 공기보다 무거운 위험물질을 사용하는 사업장에서는 폭발성 분위기가스를 감소시키기 위한 환기가 매우 중요하다. KS C IEC 6079-10 -1:2015에서는 폭발위험장소 범위 구분 시에 그래프의 하한값 미만의 누출특성에서는 폭발위험장소 구분을 명확하게 결정할 수 없다는 문제점이 있다. 그러므로 누출특성이 그래프 X축에 있어서 하한값 미만일 때에는 안전 확보를 위해 폭발위험장소 범위를 1 m로 적용하는 사례가 많으며, 이러한 위험장소 구분 방법으로는 가스 등의 누출 위험성이 있는 배관에 연결된 설비(유량계, 긴급차단밸브, 압력스위치 등)는 모두 방폭형의 제품으로 설치해야 하므로 이는 화학공장에서의 ICT설비의 도입을 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있다.

영국 HSE의 R630(Area classification for secondary releases from low pressure natural gas systems, Health and Safety Executive, 2008)에서는 옥외에서의 도시가스 누출률이 1 g/s일 때 보수적으로 LFL의 50%에 해당되는 체적(0.1 m^3)으로 제시하고 있으며, 과도하게 혼잡 또는 제한되지 않는 장소에서 1 g/s 보다 낮은 누출률을 가질 경우에는 비위험장소(NE)로 제안하고 있다. 도시가스 등의 누출특성이 로그 그래프 X축에서 하한값보다 작은 경우에는 R630 기준의 비위험장소 기준 누출률(1 g/s)보다 매우 작은 값이기 때문에 누출특성 하한값보다 작은 누출률의 영역은 비위험장소로 구분할 수 있을 것이다. 그러므로 연료용으로 사용되는 저압 가스는 누출률이 매우 작으므로 비 폭발위험장소로 구분하는 것이 적절하다. 그러나 환기가 잘 이루어지지 않은 장소에 연료가스 취급 배관 등을 설치하는 경우에는 누출된 가스의 체류 및 축적이 발생하지 않도록 자연환기 시설이나 강제환기 시설을 설치하는 방안을 강구할 필요가 있다.

2) 누출률에 따른 위험장소 설정 기준 검토

영국 HSE의 R630코드에서는 도시가스를 옥외에서 사용하는 경우에 누출률이 1 g/s 보다 작은 경우에는 비위험장소(NE)로 제시하고 있다. 이러한 누출률 조건에서 위험장소 범위의 추정을 <표 IV-6>과 같은 계산 조건에서 검토하였다. 도시가스의 누출형태를 직접 누출(누출률 1 g/s에서 60 min동안 연속 누출)의 경우와 <표 IV-6>의 가스배관 조건의 경우로 나누어 평가하였다. 직접 누출의 조건에서는 [그림 IV-6]과 같이 LEL 이상의 혼합기가 형성되지 않아 화재폭발의 발생이 일어나지 않았다. 메탄은 비중이 약 0.554로서

<표 IV-6> 도시가스의 누출률에 따른 화재폭발 피해예측을 위한 계산 조건

구분	내용
사고 형태	수송 배관의 접속부의 노후화로 인해 도시가스(메탄이 주성분)가 누출
누출 형태	- 누출률 : 1 g/s (60 min) - 가스 배관
기상 조건	- 기온 : 흐림(Complete cover), 20 °C - 습도 : 50%, 역전층은 없음 - 풍향 및 풍속 : 북풍(360도), 1.0 m/s - 지표면 조도 : Urban or Forest
가스 배관	- 배관 직경 : 10 cm - 배관 길이 : 500 m - 배관 형태 : Smooth Pipe - 배관 내 압력 : 4 atm - 배관 온도 : 20 °C - 홀 크기 : 78.5 cm²

공기보다 가볍고 또한 바람 등의 기류가 존재하는 경우에는 공기 중에 누출된 메탄의 확산이 보다 용이해지며 또한 옥외에서의 1 g/s의 누출률에서는 공기와 혼합되는 것이 쉽지 않아 폭발하한농도 이상의 가연성 혼합기를 형성하는 것이 쉽지 않기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 <표 IV-7>의 가스 배관 조건에서는 최대평균 누출률이 48.6 kg/min으로서 시간당 총 누출량은 2,840 kg에 해당되며, 메탄 누출에 따른 폭발범위는 <표 IV-7>과 같다. 또한 메탄 누출 시의 폭발범위 및 과압분포는 각각 [그림 IV-7], [그림 IV-8]과 같으며 누출원에서 78 m의 거리까지 0.5 vol%(10 % LEL)의 농도를 형성하고 있다.

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 1 grams/sec

Source Height: 0

Release Duration: 60 minutes

Release Rate: 60 grams/min

Total Amount Released: 3.60 kilograms

Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE :

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

Type of Ignition: ignited by spark or flame

Level of Congestion: uncongested

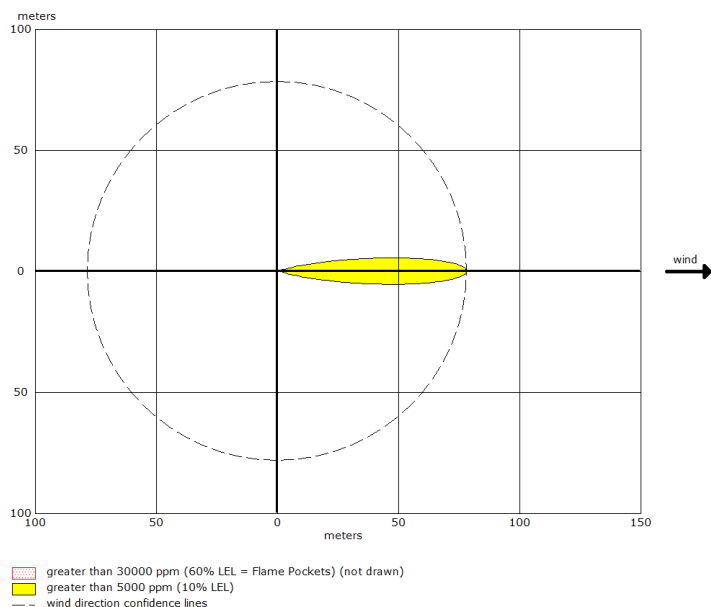
Model Run: Gaussian

No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

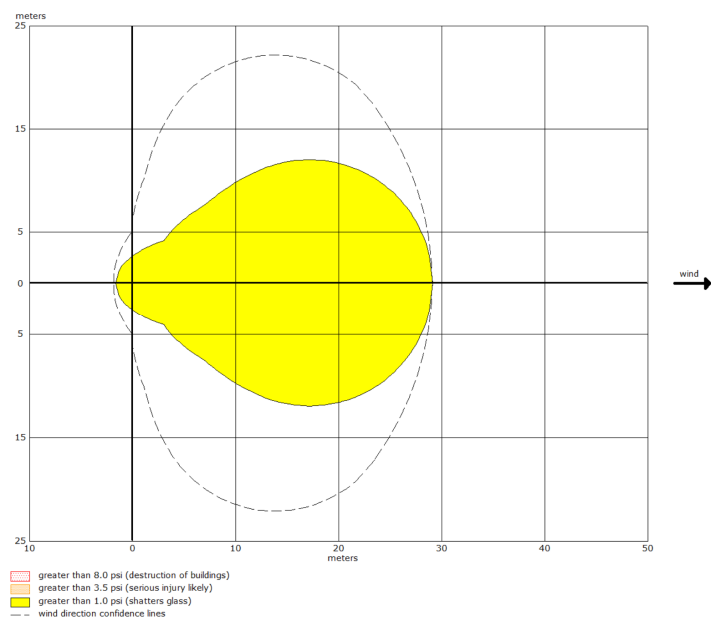
[그림 IV-6] 메탄 누출률(1 g/s, 60 min)에 따른 ALOHA의 계산 결과

<표 IV-7> 메탄 누출 시의 가연범위 계산 결과

LEL	Concentration (vol%)	Distance of Leak hole (m)
60% of LEL	-	-
10% of LEL	0.5	78



[그림 IV-7] 메탄가스 배관에서의 ALOHA에 의한 폭발범위의 계산 결과



[그림 IV-8] 메탄가스 배관에서의 ALOHA에 의한 폭발과압의 계산 결과

3) 폭발 시뮬레이션에 의한 위험장소 구분의 평가

HSE의 R630코드에서는 옥외의 도시가스 누출률이 1 g/s보다 작은 경우에는 비위험장소로 제시하고 있다. 본 코드 내용의 적합성을 검토하기 위하여 누출률 1 g/s의 조건에서 60 min 동안 연속누출이 일어날 경우의 화재폭발 위험성을 폭발 시뮬레이션을 사용하여 조사하였다.

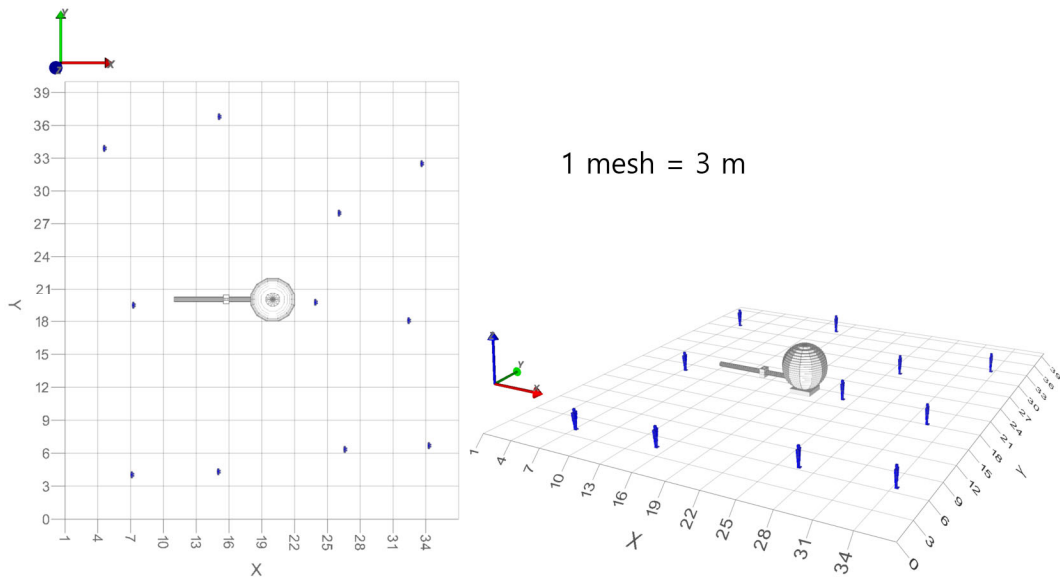
본 연구에서는 사용한 폭발 피해평가 모델은 미국 Trinity Consultants, Inc.가 상업용으로 개발한 3D-폭발시뮬레이션 소프트웨어 VEXDAM(Vapor Explosion Damage Assessment Model)을 사용하였다. VEXDAM은 3차원 폭발공간에서의 가연성 기체 또는 가연성 액체의 1차 폭발과 그에 동반하는 2차 폭발로부터 폭발공간 내의 구조물 및 인간이 받는 과압 피해를 평가하기 위한 폭발물 피해평가 모델로서 과압분포 계산과 피해예측에 대한 확률적 평가가 가능하다. 이러한 평가를 위해 3차원 폭발공간 내에 위치한 시설물 및 인간(작업자)가 위치하는 지점에서의 동압(Dynamic Pressure)과 초과압(Overpressure)의 압력 곡선을 사용하고 있다. VEXDAM에서의 폭발모델은 TNO Multi-energy Modeling을 사용하고 있으며 가연성 가스 등의 누출량, 가연성 물질의 순 연소열, 증기운의 반경, 대상물 거리, 폭발에너지 등에 대한 환산거리를 고려하고 충격파 곡선에 의한 평가 대상물과의 과압분포와 거리에 따른 피해 확률을 계산한다. 본 폭발피해평가에서는 실제 폭발장소와 유사한 3차원 상의 폭발 공간에서의 압력분포를 계산하고 각 주변 건물과 작업자에게 영향을 주는 과압분포 및 폭발발생으로부터의 거리에 따른 사상자의 발생 확률을 추정하고 있다.

〈표 IV-8〉은 폭발 시뮬레이션에 사용된 메탄의 계산 조건을 나타낸 것이다. 실제로 1 g/s의 누출률 조건으로 공기 중에 CH_4 이 방출되는 경우에는 작은 비중(0.554)으로 인하여 쉽게 확산되지만, 최악의 시나리오를 고려하여 누출량의 계산은 누출률 조건(1 g/s)에 기반하여 60 min 동안 연속누출이 일어났

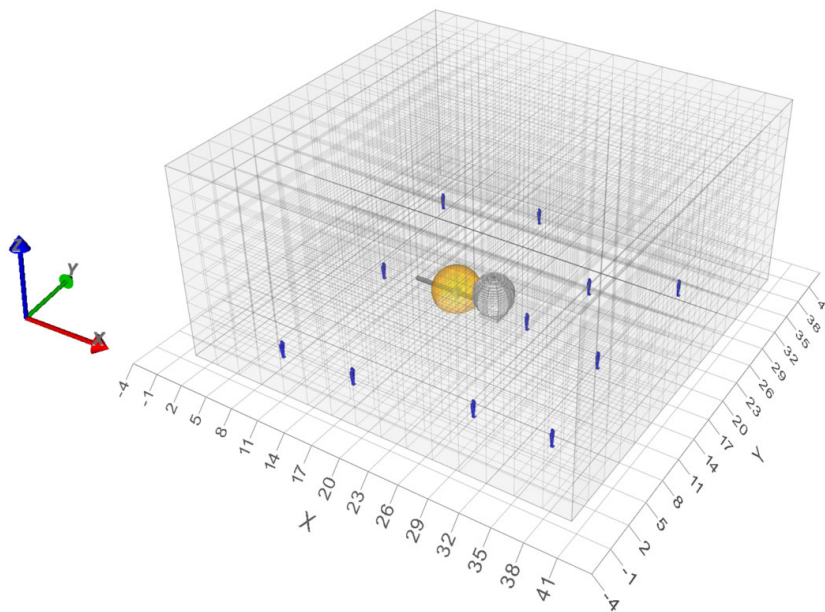
〈표 IV-8〉 폭발 시뮬레이션에 사용된 메탄의 계산 조건

구분	상세
물질명	도시가스(CH_4)
기온 ($^{\circ}\text{C}$)	20
기압 (atm)	1
누출량 (kg)	3.6 (1 g/s, 60 min)
분자량 (g/mol)	16.0
순 연소열 (J/kg)	5.0×10^7
밀도 (kg/m^3)	0.7168 (at 0°C , 1atm)
화학양론농도 (vol%)	9.48

을 때의 총 누출량으로 가정하였다. 위험장소 구분을 위해 활용하는 폭발 시뮬레이션 수행에 요구되는 폭발공간의 단면도 및 3차원 공간을 [그림 IV-9]에 나타냈다. 3차원 상의 폭발공간에서의 과압분포 및 피해 확률을 계산하기 위해서는 폭발공간 크기를 표현하는 mesh의 설정과 폭발공간 내에 저장탱크 및 작업자의 배치 조건이 필요하며 1 mesh 간의 거리는 3 m로 설정하였다. 또한 폭발과압에 따른 피해영향 판정 기준은 〈표 IV-9〉와 같다. 저장탱크에 연결된 배관으로부터의 메탄 누출에 따른 폭발과압을 계산하였으며 그 결과를 [그림 IV-11]에 제시하였다. 과압분포 레벨은 대부분 옅은 주황색으로서 약 0.6 kPa 정도의 압력이 발생하였으며 유리창이 파손될 수 있는 정도의 압력이 발생하였다. 누출원 주위의 각 구조물과 작업자에게 미치는 과압의 강도는 [그림 IV-12]와 같다. 〈표 II-5〉에서와 같이 안전한계(2.1 kPa)보다 작은 압력으로서 95% 확률로 큰 피해가 발생하지 않는 것을 나타내고 있다. 이러한 결과는 [그림 IV-13]의 메탄의 폭발피해 및 부상 확률 계산 결과에서 확인이 가능하다. 누출원의 폭발 과압에 따른 주변의 구조물과 인체에 미치는 피해영향의 상세는 [그림 IV-14]와 같다. 저장탱크와 누출이 일어난 배관에서는



[그림 IV-9] 위험장소 구분을 위한 폭발공간의 단면도 및 3차원 공간

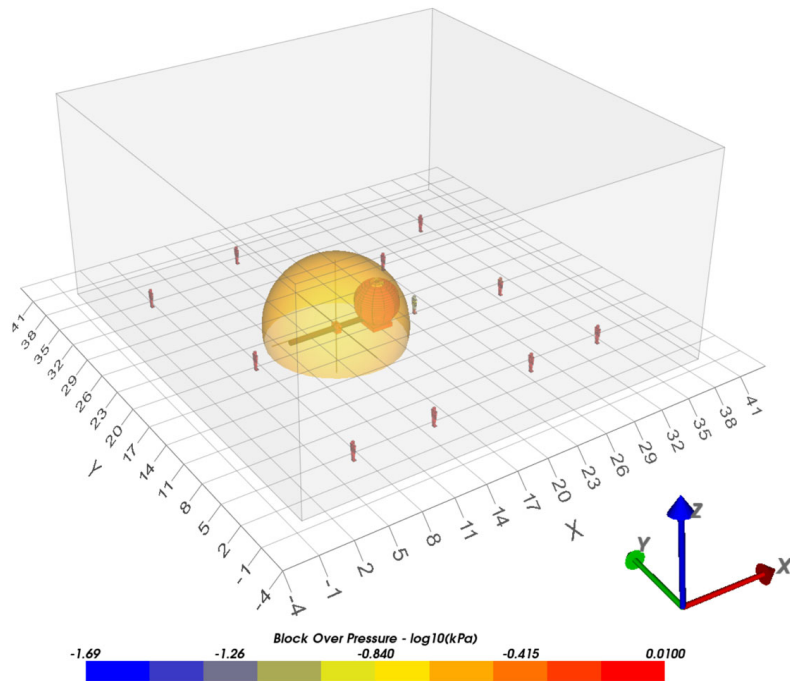


[그림 IV-10] 폭발계산을 위한 격자 구조

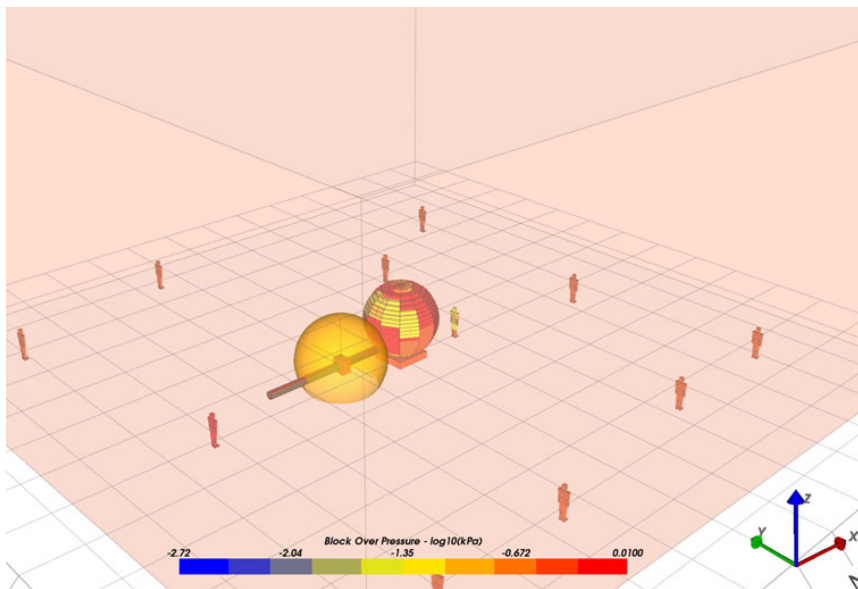
〈표 IV-9〉 폭발과압에 따른 피해영향 판정 기준

구분	상세
청색 (No Injury & damage)	상해 및 건물 손상이 없음
노랑 (Slight Injury & damage)	미세한 상해 및 손상으로 인체 장기 및 외상 발생 확률이 5% 미만으로, 건물의 손상이 매우 작아 간단히 수리가 가능함
열은 주황 (Moderate Injury & damage Level I)	인체 장기와 외상 발생 확률이 5~15% 미만이며, 일부 건물이 본래 기능을 하지 못하여 수리가 요구되는 손상
진한 주황 (Moderate Injury & damage Level II)	인체 장기와 외상 발생 확률이 15~30% 미만이며, 건물의 효율적인 사용에 제한이 있어 수리에 큰 비용이 필요한 손상
밝은 빨강 (Sever Injury & damage Level I)	인체 장기와 외상 발생 확률이 30~75% 미만이며, 구조물의 일부 재건축이 필요한 커다란 파손
진한 빨강 (Sever Injury & damage Level II)	인체 장기와 외상 발생 확률이 75% 이상이며, 구조물의 전체적인 재건축을 요하는 완전한 파손

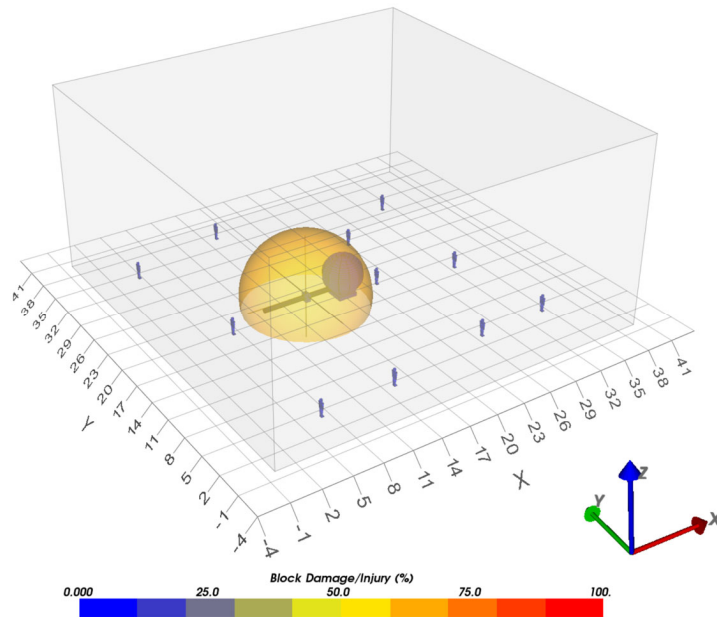
구조물의 파손 확률이 약 50%로 나타나고 있지만, 누출원으로부터 약 4 m 떨어진 작업자의 경우에는 부상 확률이 10 % 보다 작은 것을 알 수 있다. 폭발위험장소 구분에 있어서 폭발 시물레이션을 활용하여 과압 분포에 따른 기준으로 조사하면 보다 효율적으로 위험장소 판별이 가능하였다. 그러나 폭발



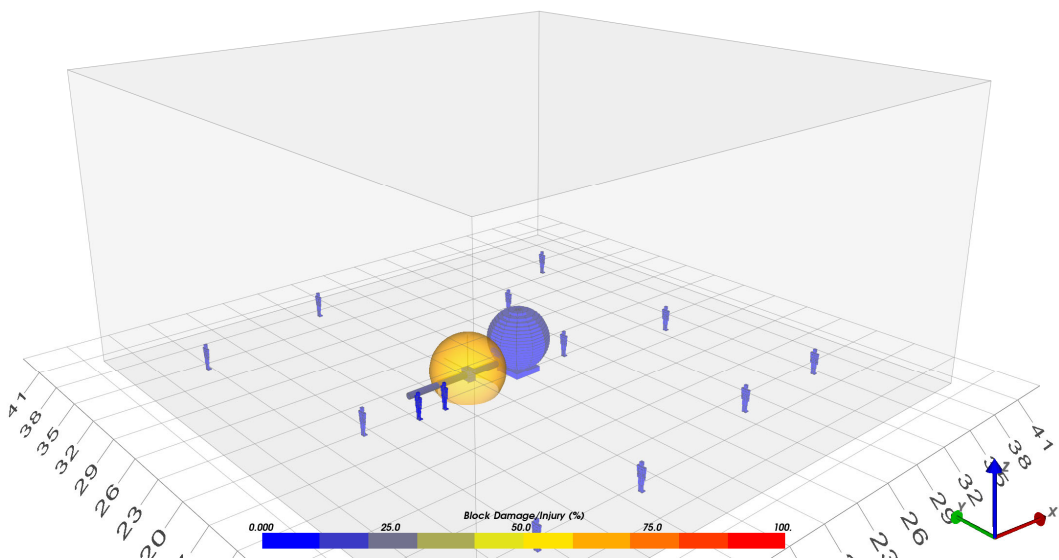
[그림 IV-11] 메탄의 폭발과압 분포의 계산 결과



[그림 IV-12] 구조물 및 인체에 미치는 과압의 강도



[그림 IV-13] 메탄의 폭발피해 및 부상 확률 계산 결과



[그림 IV-14] 과압에 따른 구조물 및 인체의 피해 영향

시에 구조물이나 설비의 파손으로 발생한 비산물이 다른 시설물이나 사람의 신체 부위에 충격이 발생하면 심각한 손상 및 부상의 영향을 줄 가능성이 있으므로 폭발과압에 따른 직접적인 피해가 없더라도 폭발 비산물의 안전대책도 필요하다.

V. 결 론

.....

V. 결론

1. 주요 결과

ICT설비의 효율적이며 안전한 사용을 위하여 누출특성을 고려한 폭발위험 장소 구분 및 설정 기준에 대하여 조사하였다. 이를 위해 국내외 ICT설비의 활용 실태조사와 국외 폭발위험장소 기준, 제도를 조사하여 개선 방안을 검토하였다. 또한 폭발위험장소 구분을 위한 현실적인 방폭구역 설정 기준에 대한 개선 대책을 제시하였으며 본 연구를 통하여 이하와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 국내외(영국, 미국, 캐나다, 독일, 일본)에 대한 폭발위험장소 ICT설비 사용실태 조사 결과, 대부분의 조사 대상국에서는 비방폭 전기기기를 사업주의 책임 하에 Zone 2에서 사용 가능한 것으로 조사되었다. 또한 모바일 전자기기를 폭발위험장소에서 사용하는 경우는 인증시험기관에 의해 방폭기기로서 인증된 경우에 한해서 가능하였다.
- 2) 캐나다 전기코드(Canadian Electric Code : CEC)에서는 “Zone 2의 비 방폭전기기기 사용 허용조건”으로서, 해당 사용 목적에 적합한 특정 기기를 사용할 수 없는 경우, 일반적인 사용에 있어서 해당 전기기기가 폭발가스 분위기에 착화 가능한 아크, 스파크 또는 고온표면이 발생하지 않으며, 그리고 해당 위험장소가 가연성가스 감지 시스템에 의해 지속적으로 모니터링이 이루어지고 있는 경우로 규정하고 있다.
- 3) 일본의 경우에는 “공장 전기 설비 방폭지침-국제정합기술지침(제1편 JNIOHS-TR-46-1:2015)”에 따라 정격전압 등의 기준값(1.5V, 0.1A, 25 mW)보다 작은 해당 전기기계기구는 일본의 노동안전위생법 규칙 제 280조(폭발위험장소에서 사용되고 있는 전기기계기구)가 적용이 되지

않아 폭발위험장소에서 비방폭기기가 사용 가능한 것으로 조사되었다.

- 4) IEC 6079-10-1(2015)에는 “무시할 수 있는 범위의 구역(Negligible Extend, NE)”의 기준이 없으며, 본 연구에서는 폭발과압 기준에 따른 개선방안으로서 폭발로 인해 과압에 노출된 인체의 피해영향을 무시할 수 있는 안전기준인 2.1 kPa 이하로 정하는 기준을 제안하였다. 또한 복사열 기준에 따른 개선방안으로서 액면화재의 경우에는 2.3kW/m^2 을 사용하거나 또는 유증기폭발, BLEVE 등의 파이어볼의 경우에는 11.6kW/m^2 을 적용하는 2가지 방안을 제시하였다.
- 5) 영국 EI 15:2005 기준에서는 옥내 및 옥외에 설치된 인화성액체의 저장 설비에서 누출량에 따른 폭발위험장소 구분 기준을 기체(1기압 환산값), 액화가스, 인화성액체에 대해서 옥내에서는 50, 5, 25 L이며 옥외에서는 1000, 100, 200 L이며 이러한 기준값 이하에서는 폭발위험장소로 설정하지 않을 수 있음을 제시하고 있다.
- 6) 위험물질을 소량 취급하는 폭발위험장소에 대해서 KS C IEC 60079-10-1:2015 및 NFPA 497에서는 구체적인 기준이 없지만, API RP 505에서는 다양한 취급상황에 대해서, 또한 EI15에서는 취급 물질량의 기준을 제시하고 있어 기준량 이하에서는 비 폭발위험장소 지정이 가능할 것으로 판단된다.
- 7) 소량 누출원이 존재하는 위험장소에서 폭발위험의 존재 범위가 좁고 지속시간이 짧은 경우에는 누출원의 주변 환경에 대해 가스 검지기 등을 활용하여 감지하도록 하고 폭발성 가스의 농도가 폭발하한농도의 25 % 이하의 경우에는 가스검지기와 연동을 갖게 하는 조건에서는 비방폭 전기기기의 비정상작업 등의 단시간 사용은 가능할 것으로 판단된다.

8) 화학물질의 누출특성이 그래프 하한값 미만에서 폭발위험장소 범위를 정할 수 없는 KS C IEC 60079-10-1:2015의 문제점 개선을 위해서 영국 HSE의 R630코드 적용이 가능할 것으로 조사되었다. R630코드에 따르면 도시가스 등이 옥외에서 누출률이 1 g/s인 경우에 안전 관점에서 LFL의 50%에 해당하는 체적(0.1 m^3)으로 규정하고 있으며, 과도하게 혼잡하거나 제한되지 않는 장소에서 1 g/s 보다 낮은 누출률에서는 비 폭발위험장소 구분이 가능하도록 규정하고 있다. 또한 폭발시뮬레이션을 통해 누출률 1 g/s에서의 도시가스 폭발에 의한 인적 피해영향이 무시 가능한 수준임을 확인할 수 있었다.

2. 활용 방안

국내에서의 폭발위험장소 구분은 주로 IEC 60079-10-1(2015)을 기준으로 평가하고 있다. 그러나 폭발위험장소에는 다양한 종류의 장치 및 시설물, 그리고 많은 종류의 화학물질을 취급하고 있으며, 작업 형태 및 종류도 일정하지 않기 때문에 정확한 위험장소의 구분은 쉽다고 할 수 없다. 또한 보수적인 폭발위험장소의 구분은 ICT, IoT 등의 관련 산업의 발전과 효율적인 사업장의 안전관리 개선에 활용할 수 있는 기술 개발을 저하시킬 수도 있다는 의견도 있다. 그러나 폭발위험장소에서의 노동자의 인적피해 예방은 매우 중요한 사항이기 때문에 효율적이며 보다 상세한 위험장소의 구분이 요구되고 있다. 본 연구에서 조사한 국외의 코드 및 규정 등을 활용하면 IEC 60079-10-1(2015)에서 명확하지 않은 기준의 제도적 보완 방안으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

또한 폭발위험장소 구분에 있어서 특히 2차 누출에 따른 Zone 2와 비방폭 구역의 구분 기준이 중요한 문제가 되고 있다. 가스 농도는 누출원을 중심으로 거리에 따라 감소하기 때문에 가연성 혼합기의 농도가 어느 정도 확산되어 있는지를 추정할 수 있다면 화재폭발에 의한 피해 예측과 저감대책이 가능해

진다. 현재까지 누출 가스의 플래시 화재에 대한 복사열 영향의 추정 모델은 정확성이 낮기 때문에 누출 가스의 확산에 따른 폭발범위 형성 유무를 통해서 피해영향 평가를 실시하고 폭발위험장소 구분에 활용되고 있다. 누출 가스 등이 공기 중에 확산되는 경우에는 점화원에 의한 착화 위험성이 문제가 되므로 폭발하한농도의 형성 유무가 중요해진다. 폭발 시뮬레이션에서 많이 사용되고 있는 가스확산모델에서 계산 가능한 가스 농도는 시간평균에 따른 농도로서 실제로 확산된 가스농도는 시간평균농도의 0.5~2배의 범위에서 변하는 것으로 알려져 있는데, 이는 가스농도가 폭발하한농도의 50 %에서도 화재폭발이 일어날 수 있으며 열복사에 의한 피해 영향도 함께 나타날 수 있음을 의미하고 있다. 따라서 폭발위험장소 구분을 위한 효율적인 사전 평가를 위해서는 가스 등의 누출에 따른 가연범위의 추정을 통해 과압분포 및 열복사의 피해 영향을 함께 조사하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 이를 위해 본 연구에서는 폭발과압 안전기준(2.1 kPa 이하)과 복사열 안전기준(액면화재 ; 2.3 kW/m², 유증기폭발 및 BLEVE 등의 파이어볼 ; 11.6 kW/m²)을 함께 검토하는 방안을 제시하였으며 비용대효율을 고려한 위험장소 구분에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

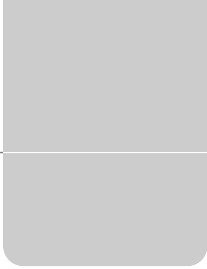
- Bozek, A., "Application of IEC 60079-10-1 Edition 2.0 For Hazardous Area Classification," Petroleum and Chemical Industry Technical Conference, September, Calgary;2017
- Choi, J. Y., "An Analysis on the Main Amendment of Hazardous Area Classification in Korea and a Study on Its Limitation," Korean Journal of Hazardous Materials;2018;6(1):8-17
- Clancey, V. J., Diagnostic Features of Explosion Damage, 6th International Meeting on Forensic Sciences, Edinburgh, Scotland ;1972
- D.Y, KIM, et al., A Study on the Improvement of Classification of Explosion Hazardous Area using Hypothetic Volume through Release, J. Korean Saf. Manag. Sci.;2017;19(2):31-39
- International Electrotechnical Commission (IEC), KS C IEC 60079-10-1 : Explosive atmosphere-Part 10.1, editon 2; 2015
- ISO 17492 , Clothing for protection against heat and flame Determination of heat transmission on exposure to both flame and radiant heat;2003.
- Jung, Y. J. and Lee, C. J., "A Study on Gas Explosion Hazardous Ranges for International Electrotechnical Commission Technical Standards," Journal of the Korean Society of Safety;2018;33(3): 39-45
- N.S., KIM, et al., A Study on the Examination of Explosion Hazardous Area Applying Ventilation and Dilution, KIGAS;2018;

22(4):27-31

Sangil Han, et al., A study on the Prediction of Explosion Risk for the Low Pressure Natural Gas Facilities with Different Explosion Conditions, KIGAS;2016;20(3):59-65

S.R, KIM, et al., A Study on the Explosion Hazardous Area in the Secondary Leakage of Vapor Phase Materials Based on the Test Results and the Leak Rate According to SEMI S6 in the Semi-conductor Industry, KIGAS;2020;24(2):15-21

Stoll, A.M. and CHIANTA, M.A., Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection. Aerospace Medicine;1969:40



Abstract

A Study on the Improvement for the Classification of Hazardous Area considering the Release Characteristics of Chemical Materials

Objectives : Various combustible gases, vapour and dusts are used in domestic chemical plants and occur repeatedly fire and explosion accidents due to leakage during handling and use. Recently, there is a growing demand for the utilization of ICT equipments and IoT devices to improve the safety management and production efficiency in workplaces. In this study, the use cases of Non-explosion-proof ICT equipments usage and classification in explosion hazardous area were investigated and we suggested the improvements for the safety management of hazardous area.

Method : The classification criteria of hazardous area and use cases of Non-explosion-proof ICT equipments in Korea, EU, UK, US, Japan were investigated. We surveyed the standards and guidelines of foreign safety agencies to determine the explosion hazardous area of small-scale leak sources. Also we verified the validity of the criteria for the explosion hazard area of small-scale leak source using 3D explosion simulation.

Results : From the survey results on the use of ICT equipment in UK, USA, Canada and EU, it was found that the non-explosion-proof ICT equipments are used in hazardous area of Zone 2 under the responsibility of the business proprietor. For the Canadian Electric Code(CEC), the usage criteria of non-explosion-proof equipments is described in detail. The guideline (Recommended Practices for Explosion-Protected Electrical Installations, JNIOOSH-TR- 46-1:2015) in Japan presents the standard values (1.5 V, 0.1 A, 25 mW) for electromechanical equipment that can be used in explosion hazardous area. Because there is no detailed criterion of Negligible Extend(NE) for KS C IEC 6079-10-1(2015), we proposed the use of safety standard (2.1 kPa) as the damage effect of explosion over-pressure and radiant heat standards (2.3 kW/m² in pool fire and 11.6 kW/m² in fireball) In this study. EI15(2005) in UK is presenting the standard value for classification of hazardous area according to release characteristic from storage facilities of flammable liquid. API RP 505 is proposing the criteria according to the amount of substances handled and various handling situations. For the area less than 1 g/s in release characteristic of LNG, it can be classified as non-hazardous area according to the guideline of R630(HSE) in UK.

Conclusion : The classification of explosion hazardous area in domestic is mainly evaluated based on IEC 60079-10-1 (2015) and accurate classification of hazardous area is not easy due to various chemicals, devices, facilities and work types in workplace. Also there is an opinion that the current classification of explosion hazardous area

reduces the development of technologies that can be used for the development of the ICT industry and the improvement of efficient workplace management. However efficient and more detailed classification of explosion hazardous area is required because the prevention of damage to workers in workplace is very important. By using the foreign codes and regulations investigated in this study, it will be possible to supplement the standards that are not clear in IEC 60079-10-1(2015).

Key words : ICT(Information and Communications Technology) equipment, Explosion Hazardous Area, Release Characteristic, Lower Explosion Limit.

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 한우섭 (부장, 산업안전연구실)

연구원 : 서동현 (연구위원, 산업안전연구실)

연구원 : 임진호 (차장, 산업안전연구실)

연구원 : 최이락 (차장, 산업안전연구실)

연구기간

2021. 02. 01. ~ 2021. 11. 30.

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

산업안전보건연구원장

화학물질의 누출특성을 고려한 위험장소 설정기준 개선 방안 연구
(2021-산업안전보건연구원-737)

발 행 일 : 2021년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 부장 한우섭

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 042-869-0331

팩 스 : 042-869-9002

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92138-09-1