

국내 가스시설 폭발 위험장소 구분 및 방폭 설비 관리에 관한 연구

이임용*, 나완석*, 강민관*

*한국폴리텍대학

e-mail:iylee60@hanmail.net

A Study on the Classification of Explosion Hazard Zones and Explosion-Proof Equipment Management in Korean Gas Facilities

Im-Yong Lee*, Wan-Suk Na*, Min-Kwan Kang*

*Dept. of Operation and Chemical Process, Korea Polytechnic

요 약

This study analyzes the classification of explosive hazardous areas and the management of explosion-proof equipment in gas facilities, based on the GC101 standards established by the Korea Gas Safety Corporation (KGS). The classification of hazardous areas is determined by the frequency and duration of gas leaks, with specific leak grades and ventilation systems considered for safety management. The research explores the importance of proper ventilation systems and dilution grades to mitigate explosion risks and provides an assessment of the necessary safety protocols for preventing hazardous incidents. The findings emphasize the significance of systematic management in explosive environments and the implementation of reliable explosion-proof systems to ensure the safety of gas facilities. This paper offers insights into improving the current safety frameworks in high-risk industries, proposing enhancements in both technical standards and operational procedures to address the growing challenges in explosion prevention.

1. 서론

산업 현장에서 폭발 사고는 가스 및 위험물질을 다루는 산업에서 발생할 수 있는 가장 치명적인 사고 중 하나이다. 가스시설은 대량의 폭발성 물질을 취급하므로 이러한 사고는 대규모 인명 피해와 경제적 손실을 초래할 수 있다. 따라서, 가스시설의 폭발 위험장소를 체계적으로 구분하고, 적절한 방폭 설비를 설치 및 관리하는 것이 필수적이다. 한국가스안전공사(KGS)가 제정한 GC101 기준은 가스시설에서 발생할 수 있는 잠재적 폭발 위험을 평가하고, 이를 체계적으로 관리하기 위한 기술적 지침을 제공한다.

국내 사례를 보면, 2020년부터 2022년까지 가스시설에서 발생한 폭발 사고는 30건 이상 보고되었으며, 그 중 많은 사고가 가스 누출로 인한 폭발이었다. 예를 들어, 2021년 울산 화학 공장에서 발생한 폭발 사고는 가스가 적절히 환기되지 않았고 방폭 설비가 제대로 작동하지 않아 대규모 피해를 초래한 사례다. 이러한 사고는 주로 폭발 위험장소의 구분이 미흡하거나 방폭 설비 관리가 부실한 데서 발생한 것으로 분석된다.

해외에서는 미국과 유럽이 폭발 위험 지역의 관리를 더 엄격하게 시행하고 있다. 미국 NFPA(National Fire Protection Association)와 유럽의 ATEX(Atmospheres Explosibles) 지침은 폭발성 환경에서 작업 시의 안전 기준을 제시하며, 각국의 법률에 따라 엄격하게 시행되고 있다. 예를 들어, NFPA 70E는 전기 및 가스시설의 폭발 위험 구역을 체계적으로 구분하고, 방폭 설비 설치 및 유지보수에 대한 세부 규정을 제시한다.

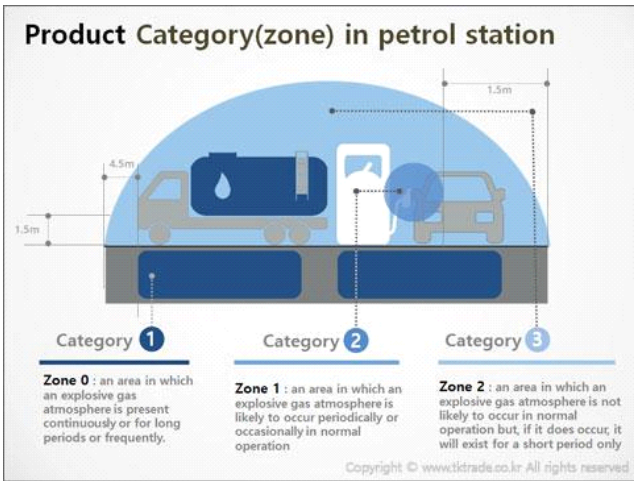
2. 방폭 설비 관리 및 위험장소 구분

2.1. GC101 기준의 폭발 위험장소 구분

한국가스안전공사(KGS)에서 제정한 GC101 기준은 가스시설에서 발생할 수 있는 폭발 위험을 예방하기 위한 기술적 지침으로, 폭발 위험장소를 체계적으로 구분하여 관리하는 방법을 제공하고 있다. 폭발 위험장소 구분은 가스 누출이 발생할 수 있는 지역을 평가하고, 이 지역에서 적절한 방폭 설비를 설치하는 데 중요한 역할을 한다. 이를 통해 폭발성 물질이 존재할 가능성이 있는 환경에서 작업의 안전성을 확보

할 수 있다.

GC101 기준은 폭발 위험장소를 가스 누출의 빈도와 지속 시간에 따라 그림 1과 표 1과 같이 크게 세 가지 등급으로 구분한다. 이 구분은 각 지역의 특성에 맞는 방폭 설비를 설치하도록 하여, 폭발 위험을 최소화하는 데 목적이 있다. 구체적으로는 연속 누출 구역, 1차 누출 구역, 2차 누출 구역으로 나눌 수 있다.



[그림 1] 위험지역구분도

[표 1] 위험지역에 따른 분류

구분	IEC CODE (유럽)	NEC CODE (북미)	JIS CODE (한국/일본)
지속적인 위험 분위기 (일반적으로 연간 1000 시간 이상)	Zone 0	Division 1	0 종 장소
정상상태에서의 간헐적 위험 분위기 (연간 10~1000 시간)	Zone 1	Division 1	1 종 장소
이상상태에서의 위험분위기 (연간 0.1~10 시간)	Zone 2	Division 2	2 종 장소

연속 누출 구역은 가스 누출이 지속적으로 발생하는 지역을 의미한다. 이 구역은 폭발 위험이 가장 높은 지역으로, 지속적인 가스 방출이 발생하는 곳으로 최고 수준의 방폭 설비가 필요하다. 연속 누출 구역은 일반적으로 저장 탱크나 주 가스 공급 장치와 같은 장소에서 발생할 가능성이 크다. 이러한 장소는 대규모 가스 누출이 빈번하게 발생할 수 있으며, 그에 따라 방폭 설비와 함께 철저한 관리가 필요하다.

1차 누출 구역은 정상적인 운영 조건 하에서 주기적으로 가스가 누출될 가능성이 있는 구역을 의미한다. 이 구역은 일정한 주기로 가스가 누출될 수 있지만, 연속 누출 구역과는 다르게 가스 누출이 지속적으로 일어나지는 않는다. 1차 누출 구역에서는 적절한 방폭 설비와 환기 시스템이 필수적이다.

환기 시스템은 가스 농도를 신속하게 희석시켜 폭발성 가스 분위기가 형성되는 것을 방지할 수 있다. 일반적으로, 가스 처리 장치나 압축기가 있는 구역이 1차 누출 구역에 해당할 수 있다.

2차 누출 구역은 비정상적인 운영 조건 하에서 가스 누출이 발생할 가능성이 있는 구역으로, 상대적으로 낮은 수준의 폭발 위험을 가지고 있다. 이 구역에서는 가스가 드물게 누출될 수 있지만, 그 빈도나 위험성은 다른 구역에 비해 상대적으로 낮다. 따라서 2차 누출 구역에서는 상대적으로 적은 수준의 방폭 설비가 필요하며, 기본적인 안전 조치와 유지보수만으로도 안전성을 확보할 수 있다. 예를 들어, 가스시설의 외부나 가스가 운반되는 배관 근처가 2차 누출 구역에 해당할 수 있다. 이러한 구역별 구분은 각 구역에서 발생할 수 있는 위험성을 명확히 식별하고, 그에 맞는 방폭 설비와 관리 체계를 구축하는 데 중요한 역할을 한다. 특히, 연속 누출 구역과 같은 고위험 지역에서는 방폭 설비뿐만 아니라, 가스 농도를 신속하게 낮출 수 있는 고성능 환기 시스템이 필수적이다. 이는 폭발 사고를 사전에 예방하고, 작업자와 시설의 안전을 보장하기 위한 중요한 조치이다.

또한, GC101 기준은 각 구역에서 사용되는 전기 설비와 기계 설비의 적합성도 명시하고 있다. 특히, 연속 누출 구역과 1차 누출 구역에서는 방폭 성능이 인증된 전기 설비를 설치해야 하며, 이를 통해 가스 누출로 인한 전기 스파크 또는 발화의 위험을 차단할 수 있다. 이러한 방폭 설비는 국제적으로 인증된 제품을 사용하는 것이 권장되며, 한국에서도 IECEX 인증을 받은 방폭 설비의 사용이 증가하고 있다.

마지막으로, GC101 기준에서는 각 구역에서의 주기적인 유지보수와 점검의 중요성을 강조한다. 특히, 연속 누출 구역과 1차 누출 구역에서는 정기적인 점검과 테스트가 필수적이며, 이를 통해 방폭 설비가 제 기능을 발휘하고 있는지를 확인할 수 있다. 이러한 유지보수 프로그램은 폭발 사고를 예방하는데 중요한 역할을 하며, 방폭 설비의 수명을 연장하는 효과도 있다.

결론적으로, GC101 기준에서 제시하는 폭발 위험장소 구분은 가스시설에서의 안전성을 보장하기 위한 필수적인 기술적 지침이다. 이 구분을 통해 각 구역의 위험성을 명확히 식별하고, 그에 맞는 방폭 설비와 관리 체계를 구축할 수 있다. 이를 통해 가스시설에서 발생할 수 있는 폭발 사고를 예방하고, 작업자와 시설의 안전을 확보할 수 있다.

2.2 환기 시스템의 중요성

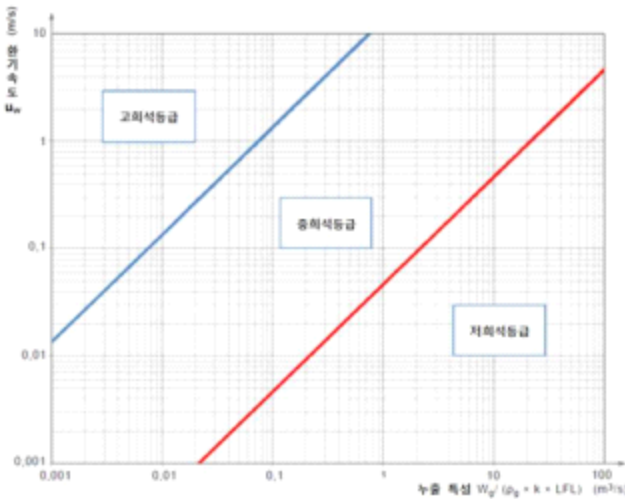
환기 시스템은 가스시설의 안전성을 보장하기 위한 핵심적인 요소 중 하나이다. 가스 누출이 발생하면 폭발성 분위기가 형성될 수 있으며, 이를 빠르게 제거하는 것이 폭발 사고를

예방하는 가장 중요한 방법 중 하나다. 한국가스안전공사(KGS)에서 제정한 GC101 기준에서는 각 구역의 환기 시스템 설계를 중요하게 다루고 있으며, 표 1과 같이 환기 속도와 효과에 따라 위험 구역 내 가스 농도를 신속하게 낮출 수 있는지 여부를 평가한다. 이는 그림 3과 같이 각 구역의 희석 등급을 설정하는 데 있어서도 중요한 기준이 된다.

[표 1] 환기속도에 따른 유효성

실외의 유형	장애물이 없는 지역			장애물이 있는 지역		
	2m 이하	2m 초과 5m 이하	5m 초과	2m 이하	2m 초과 5m 이하	5m 초과
공기보다 가벼운 가스 누출 시의 희석등급을 설정하기 위한 환기속도	0.5 m/s	1 m/s	2 m/s	0.5 m/s	0.5 m/s	1 m/s
공기보다 무거운 가스 누출 시의 희석등급을 설정하기 위한 환기속도	0.3 m/s	0.6 m/s	1 m/s	0.15 m/s	0.3 m/s	1 m/s
높이와 무관하게 액체 분의 증발량을 설정하기 위한 환기속도	0.25 m/s 초과			0.1 m/s 초과		

[비고] 1. 이 표의 값에 적합한 경우에는 환기유효성이 "양호" 한 것으로 볼 수 있다.
 2. 상층의 경우에는 최소환기속도가 0.05 m/s라는 가정 하에 평가한다. 다만 공기를 유입하거나 배출하는 개구부 근처와 같은 특정 상황에서는 다른 값을 최소환기속도로 가정할 수 있으며, 환기장치를 제어할 수 있는 경우에는 최소환기속도를 계산할 수 있다.
 3. 밀집된 배관, 건축물, 나무 또는 배양 등과 같은 장애물이 가스입비 주변 공기의 흐름에 영향을 주는 경우 "장애물이 있는 지역"으로 판단하고, 그렇지 아니한 경우 "장애물이 없는 지역"으로 판단한다.7)



[그림 3] 환기속도의 개념

GC101 기준에 따르면, 각 구역의 환기 설계는 누출된 가스를 희석시키는 능력에 따라 희석 등급으로 분류된다. 빠르게 가스 농도를 낮출 수 있는 환경일수록 희석 등급이 높으며, 이에 따라 방폭 설비의 요구사항이 달라진다. 희석 등급은 크게 세 가지로 분류되며, 1등급이 가장 효과적인 환기가 이루어지는 구역이다. 1등급 환기 구역은 폭발성 가스가 발생해도 빠르게 가스 농도를 낮춰 폭발성 분위기가 형성될 가능성을 최소화할 수 있다. 이는 대형 환기 장치나 자연 환기가 원활

한 환경에서 주로 볼 수 있다. 반면, 환기가 불충분한 구역에서는 폭발 위험이 상대적으로 높아지며, 이러한 구역에서는 방폭 설비뿐만 아니라 적절한 환기 설비의 설치가 필수적이다. 예를 들어, 밀폐된 공간이나 환기가 어려운 지역에서는 가스가 누출되었을 때 신속한 대응이 어렵기 때문에, 가스 농도가 빠르게 위험 수준에 도달할 수 있다. 이러한 구역에서는 더 높은 등급의 방폭 설비가 요구되며, 누출 상황을 신속하게 감지할 수 있는 가스 감지기와 같은 추가적인 안전 장치도 설치해야 한다.

GC101 기준에서 환기 시스템은 각 구역의 특성에 맞게 설계되어야 하며, 그 설계 과정에서 중요한 요소로는 환기량, 환기 빈도, 자연 환기 및 기계식 환기의 조합 등이 있다. 환기 시스템의 설계는 가스 누출이 발생했을 때 빠르게 가스를 희석시키고, 폭발성 분위기가 형성되기 전에 이를 제거할 수 있도록 해야 한다. 자연 환기가 가능한 구역에서는 이를 최대한 활용하되, 부족한 경우 기계식 환기를 통해 이를 보완해야 한다.

환기 시스템의 성능을 평가하는 또 다른 중요한 요소는 공기 변화 횟수이다. 공기 변화 횟수는 시간당 공간 내의 공기가 몇 번 환기되는지를 나타내며, 이 수치는 환기 시스템의 효율성을 평가하는 중요한 지표가 된다. 일반적으로 가스 누출이 빈번한 구역에서는 공기 변화 횟수가 높아야 하며, 이를 통해 폭발성 가스 농도가 위험 수준 이하로 유지될 수 있다. 해외 사례에서도 환기 시스템의 중요성은 강조되고 있다. 미국의 NFPA 68 표준에서는 환기 시스템의 설계와 설치에 대한 세부 규정을 제시하고 있으며, 가스 누출 시 신속한 환기를 통해 폭발 사고를 예방할 수 있는 방법을 설명하고 있다. 유럽의 ATEX 지침에서도 각 구역의 누출 가능성에 따라 적절한 환기 시스템을 설치할 것을 요구하고 있다. 이러한 국제적 기준은 가스시설에서 폭발 위험을 최소화하기 위해 각 구역의 특성에 맞는 맞춤형 환기 시스템을 설치하는 것이 중요하다는 점을 시사한다.

환기 시스템의 유지보수도 폭발 사고를 예방하기 위해 중요한 요소이다. GC101 기준에 따르면, 환기 시스템은 정기적으로 점검되고, 그 성능이 유지되는지 확인해야 한다. 환기 설비는 시간이 지남에 따라 성능이 저하될 수 있으며, 특히 필터나 팬과 같은 구성 요소는 정기적으로 교체해야 한다. 또한, 가스 누출 경보 시스템과의 연동을 통해 환기 시스템이 가스 누출을 감지하자마자 자동으로 가동될 수 있도록 설정하는 것이 중요하다. 이러한 유지보수 프로그램은 가스시설의 안전성을 보장하는 데 있어 필수적인 절차이다.

환기 시스템이 제대로 작동하지 않는 경우, 가스 누출로 인한 폭발 위험은 급격히 증가한다. 이는 특히 밀폐된 공간에서 더욱 심각한 문제로 작용할 수 있다. 적절한 환기 시스템이

갖춰지지 않은 상태에서 가스가 누출되면, 폭발성 가스가 급속히 축적되며, 발화원이 존재할 경우 폭발 사고가 발생할 가능성이 높아진다. 따라서 가스시설에서는 환기 시스템의 설계 및 유지보수가 철저히 이루어져야 하며, 이는 시설의 안전을 보장하는 중요한 요소 중 하나이다.

결론적으로, 환기 시스템은 가스시설의 폭발 사고를 예방하기 위한 핵심적인 장치로, 그 중요성이 강조되어야 한다. GC101 기준은 이러한 환기 시스템의 설계와 유지보수에 대한 구체적인 지침을 제공하며, 이를 통해 각 구역의 위험성을 최소화할 수 있다. 또한, 국제적인 기준을 참고하여 환기 시스템의 효율성을 높이고, 정기적인 점검과 유지보수를 통해 그 성능을 유지하는 것이 중요하다.

5. 결론

본 연구에서는 한국가스안전공사(KGS)의 GC101 기준을 바탕으로 가스시설에서의 폭발 위험장소 구분과 방폭 설비 관리의 중요성을 분석하였다. GC101 기준은 가스 누출의 위험을 체계적으로 평가하고, 그에 따라 안전 조치를 취할 수 있는 중요한 기술적 지침을 제공한다. 그러나 이러한 기준이 실제 현장에서 효과적으로 적용되기 위해서는 관리 시스템의 지속적인 개선과 엄격한 시행이 필요하다. 이를 위해서는 정부와 산업계의 협력이 필수적이며, 국제적인 기준을 참고한 제도적 개선이 요구된다.

향후 연구에서는 GC101 기준의 적용 실태를 더 심도 있게 분석하고, 그에 따른 실질적인 개선 방안을 제시할 필요가 있다. 또한, 폭발 위험 지역에서의 안전 관리 강화를 위한 교육 및 훈련 프로그램의 확대가 필요하다.

참고문헌

- [1] KGS Code, "GC101: Classification Code for Explosive Hazardous Area on Gas Facility," Korea Gas Safety Corporation, 2018.
- [2] NFPA 68, "Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting," National Fire Protection Association, 2013.
- [3] ATEX Directive 2014/34/EU, "Equipment for Explosive Atmospheres," European Union, 2014.