

수소 취급설비의 누출원에 인접한 방폭전기기기의 가스그룹 IIC 기기 회피 방안에 관한 연구

변윤섭[†]

울산과학기술대학교 화학공학과

A Study on the Method to Avoid the Gas Group IIC Equipment of Explosion Proof Electrical Equipment Adjacent to the Source of Release of Hydrogen Handling Facility

YOON SUP BYUN[†]

Department of Chemical Engineering, Ulsan College, 57 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan 44610, Korea

[†]Corresponding author :
ysbyun@uc.ac.kr

Received 21 June, 2022
Revised 26 July, 2022
Accepted 11 August, 2022

Abstract >> Appropriate explosion proof electrical equipment should be installed in hazardous areas. In areas where hydrogen is handled, explosion proof electrical equipment adjacent to the hydrogen handling facility must be reviewed for selection of gas group IIC (or IIB+H₂) equipment. When selecting explosion proof electrical equipment for the flammable substance handling facility in areas where hydrogen and flammable substance are handled, the method to avoid gas group IIC (or IIB+H₂) equipment has been suggested by using the operating pressure of the hydrogen handling facility. When the operating pressure of the outdoor hydrogen handling facility is 1.065 MPa or less, it has been confirmed that there is no need to install gas group IIC (or IIB+H₂) equipment for the flammable substance handling facility adjacent to the hydrogen handling facility. And the method of selecting explosion proof electrical equipment for the flammable substance handling facility has been suggested as a flowchart, so it will be able to be utilized when selecting appropriate explosion proof electrical equipment.

Key words : Explosion proof electrical equipment(방폭전기기기), Hazardous area(폭발위험장소), Hydrogen(수소), Gas group IIC(가스그룹 IIC), Flammable substance(인화성물질)

1. 서론

인화성 물질을 취급하는 장소는 화재·폭발사고가

발생할 수 있는 잠재적 위험성이 있으므로 해당 장소에 대한 폭발위험장소 구분도가 작성되어야 한다. 이는 폭발성가스분위기가 조성되거나 조성될 우려가

있는 장소를 구분하여 적합한 방폭전기기기를 설치 사용하기 위함이다¹⁾.

인화성 물질(인화성 고체 제외)을 취급하는 위험 장소는 0종 장소, 1종 장소, 2종 장소로 구분하고, 설치·사용할 수 있는 방폭전기기기의 방폭구조는 위험 장소에 따라 다르다¹⁾. 또한, 인화성 물질의 종류는 가스그룹 II A, II B, II C로 구분할 수 있으며 가스그룹에 따라 설치·사용할 수 있는 방폭전기기기가 제한된다²⁾. 일반적으로는 가스그룹 II B 기기를 설치·사용할 수 있으나 수소를 취급하는 장소에는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용해야 한다^{1,2)}. 따라서 인화성 물질을 취급하는 장소에 대한 폭발위험장소 구분도 작성 시 인화성 물질의 종류를 확인하고, 수소를 취급할 경우 수소로 인해 폭발성가스분위기가 조성되거나 조성될 우려가 있는 위험장소를 별도로 구분해야 한다. 그리고 해당 위험장소에는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용해야 한다.

그런데 산업현장에서는 수소에 대한 별도의 폭발 위험장소를 구분하지 않고, 인화성 물질(수소 제외)에 대해서만 폭발위험장소를 구분하여 해당 폭발위험장소에 가스그룹 II B 기기를 설치·사용하고, 수소를 직접 취급하는 설비에 한해 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용하는 경우가 있다. 이를 경우 수소 취급설비의 누출원에 인접한 방폭전기기기의 가스그룹이 적합하지 않아 수소 누출 시 화재·폭발사고의 원인이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수소와 인화성 물질을 취급하는 공정에서 수소 취급설비의 운전압력을 이용하여 수소 취급설비에 인접한 인화성 물질 취급설비에 적합한 방폭전기기기를 선정하는 방안을 제시해서 부적합한 방폭전기기기 설치·사용으로 인한 화재·폭발사고를 예방하는 데 기여하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 폭발위험장소 구분 절차

한국산업표준(KS C IEC 60079-10-1)에 따라 폭발

위험장소를 구분하는데 그 절차는 Table 1과 같다^{1,3,4)}.

인화성 물질이 대기 중으로 누출되는 사건의 빈도와 지속시간의 정도에 따라 연속 누출, 1차 누출, 2차 누출로 누출등급을 구분하고, 누출부위 및 항목에 따라 누출면적 크기를 결정한 후 누출유량을 산정한다. 그리고 누출특성과 환기속도를 기준으로 환기유효성(effectiveness of ventilation)인 환기등급을 평가하고, 환기방식에 따라 환기이용도(availability of ventilation)를 판단한다. 마지막으로 누출등급, 환기등급 및 환기이용도를 이용하여 위험장소(hazardous zone)를 구분하고, 누출특성과 누출유형(heavy gas, diffusive, jet)에 따라 폭발위험장소의 위험거리를 추정한다.

2.2 누출유량 산정

해당 설비의 운전압력이 식 (1)에 따라 산정한 임계압력보다 높으면 해당 설비의 누출원에서 누출되는 누출유량은 식 (2)로 산정한다^{1,3,4)}.

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma / (\gamma - 1)} \tag{1}$$

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1) / (\gamma - 1)}} \tag{2}$$

- Where, p_c : critical pressure (Pa)
- p_a : atmospheric pressure (101,325 Pa)
- γ : ratio of specific heats (dimensionless)
- W_g : mass release rate (kg/s)

Table 1. Hazardous area classification procedure

Step	Description
Estimation of release rate	<ul style="list-style-type: none"> • Grade of release • Hole size • Release rate
Assessment of ventilation	<ul style="list-style-type: none"> • Degree of dilution • Availability of ventilation
Hazardous area classification	<ul style="list-style-type: none"> • Hazardous zone • Extent of zone

- C_d : discharge coefficient (dimensionless)
- S : cross section of the opening hole (m^2)
- p : operating pressure inside the facility (Pa)
- M : molar mass (kg/kmol)
- Z : compressibility factor (dimensionless)
- R : universal gas constant (8,314 J/kmol·K)
- T : absolute temperature of the fluid (K)

2.3 환기 평가

환기유효성과 환기이용도를 평가하는 데 환기유효성은 환기등급으로 나타낸다¹⁾. 환기등급은 누출된 인화성 물질을 안전한 수준으로 희석시킬 수 있는 정도를 나타내는데 식 (3)으로 산정한 누출특성과 환기속도로 곱해서, 중희석, 저희석으로 구분할 수 있고, 곱희석이 되는 최소 환기속도는 식 (4)와 같다^{1,3,4)}.

$$W_v = \frac{W_g}{\rho_g k LFL} \quad (3)$$

$$u_w = \frac{40}{3} \times \frac{W_g}{\rho_g k LFL} \quad (4)$$

- Where, W_v : characteristic of release (m^3/s)
- W_g : mass release rate (kg/s)
- ρ_g : density (kg/m^3)
- k : safety factor (dimensionless)
- LFL : lower flammable limit (vol/vol)
- u_w : ventilation velocity (m/s)

여기서, 밀도(ρ_g)는 식 (5)를 이용하여 계산할 수 있는데 p_a 는 대기압(101,325 Pa), M 은 몰 질량(kg/kmol), R 은 기체상수(8,314 J/kmol·K), T_a 는 누출원 주변의 대기온도(K)이다^{1,3,4)}.

$$\rho_g = \frac{p_a M}{RT_a} \quad (5)$$

그리고 환기이용도는 환기의 연속성 정도를 나타내는데 우수, 양호, 미흡으로 구분할 수 있고, 옥외 자연환기는 양호로 평가할 수 있다¹⁾.

2.4 폭발위험장소 구분

인화성 물질 취급설비 주변은 폭발위험장소와 비폭발위험장소로 구분하고, 위험장소는 0종 장소, 1종 장소 및 2종 장소로 구분할 수 있는데 Table 2와 같이 누출등급, 환기유효성 및 환기이용도에 따라 폭발위험장소와 비폭발위험장소로 구분한다¹⁾.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 연구 대상 및 방법

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 옥외에 수소 취급설비(누출등급은 2차 누출로 한정)와 인화성 물질 취급설비를 설치·사용하는 공정을 선정하였다.

인화성 물질 취급설비의 방폭전기기기를 선정하기 위해서는 수소 취급설비에 대한 별도의 폭발위험장소를 구분해야 하는데 본 연구에서는 수소 취급설비에 대한 별도의 폭발위험장소 구분 없이 인화성 물질 취급설비의 방폭전기기기 선정이 가능한 방안을 제시하고자 하였다.

Table 2. Zones for grade of release and effectiveness of ventilation¹⁾

Grade of release	Effectiveness of ventilation		
	High dilution		
	Availability of ventilation		
	Good	Fair	Poor
Continuous	Non-hazardous (Zone 0 NE)	Zone 2 (Zone 0 NE)	Zone 1 (Zone 0 NE)
Primary	Non-hazardous (Zone 1 NE)	Zone 2 (Zone 1 NE)	Zone 2 (Zone 1 NE)
Secondary	Non-hazardous (None 2 NE)	Non-hazardous (Zone 2 NE)	Zone 2

· Zone 0 NE, 1 NE or 2 NE indicates a theoretical zone which would be of negligible extent under normal conditions

따라서 수소 취급설비에서 수소가 누출될 때 비폭 발위험장소로 구분될 수 있는 최대 운전압력과 폭발 성가스분위기가 조성될 우려가 있는 위험거리가 1 m 되는 수소 취급설비의 운전압력을 산정하였다. 그리고 그 결과를 이용하여 인화성 물질 취급설비의 방폭전기기기 선정 방안을 제시하였다.

3.2 수소 취급설비의 폭발위험장소 구분

3.2.1 비폭발위험장소

수소 취급설비의 누출원(2차 누출)에서 수소가 누출될 때 비폭발위험장소로 구분하기 위한 조건은 Table 2에서 환기유효성은 고회석이고, 환기이용도는 우수 및 양호할 때이다. 따라서 Fig. 1과 같은 옥외 수소 취급설비의 누출원에서 수소가 누출될 때 환기유효성이 고회석이고, 환기이용도가 양호(우수)하여 비폭발위험장소(2중 장소 NE)로 구분할 수 있는 수소 취급설비의 최대 운전압력을 산정하였다.

본 연구는 옥외에 설치·사용하는 공정으로 한정하였으므로 환기이용도는 양호로 평가하였고, 환기속도는 KS C IEC 60079-10-1의 부속서 C (환기 지침)의 표 C.1에서 제시한 장애물 유무 및 지표면에서 높이에 따른 대표적 옥외 속도 0.5-2 m/s를 적용하였다^{1,3,4}. 고회석이 되는 누출유량은 식(4), (5)를 사용하여 산정하였는데 지표면에서 높이 및 환기속도에 따른 누출유량은 Table 3과 같고, 이때 적용된 데이터는 Table 4와 같다^{1,3-6}. 따라서 수소의 누출유량이

Table 3에서 제시한 값 이하일 경우에는 비폭발위험장소(2중 장소 NE)로 구분할 수 있음을 확인하였다.

그리고 수소 취급설비의 운전압력이 식 (1)을 이용하여 산정한 임계압력보다 높으므로 수소 취급설비의 누출원에서 최대 운전압력은 식 (2)를 이용하여 산정하였는데 누출면적은 보수적으로 접근하기 위해 KS C IEC 60079-10-1의 부속서 B (누출원의 평가)의 표 B.1에서 권고한 누출면적에서 가장 큰 값을 적용하였다¹. 여기서, 수소는 부식성이 없어 누출 개구부가 확대될 가능성이 거의 없으므로 누출면적으로 0.25 mm²를 적용하였다^{1,6}. 수소 취급설비의 누출원

Table 3. Release rate and operating pressure for secondary grade of release

Elevation from ground level	Ventilation velocity (m/s)	Release rate (kg/s)	Operating pressure (MPa)	
Unobstructed areas	≤ 2 m	0.5	1.236E-4	1.065
	>2 m up to 5 m	1	2.473E-4	2.130
	>5 m	2	4.946E-4	4.261
Obstructed areas	≤ 2 m	0.5	1.236E-4	1.065
	>2 m up to 5 m	0.5	1.236E-4	1.065
	>5 m	1	2.473E-4	2.130

Table 4. Data for the release rate and operating pressure of hydrogen handling facility

Items	Data	Remarks
Molar mass (kg/kmol)	2.016	
Absolute ambient temperature (K)	298	
Absolute temperature of the fluid (K)	298	
LFL (vol/vol)	0.04	4%
Safety factor attributed to LFL (dimensionless)	1	
Atmospheric pressure (Pa)	101,325	
Discharge coefficient (dimensionless)	0.75	Sharp orifices
Ratio of specific heats (dimensionless)	1.41	
Compressibility factor (dimensionless)	1	

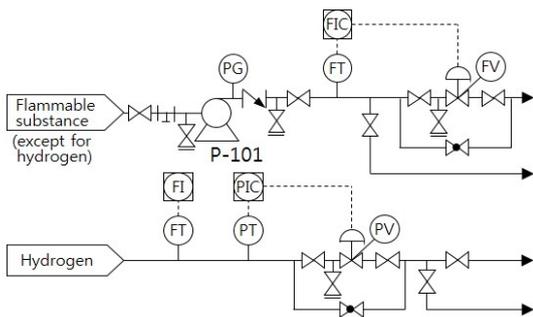


Fig. 1. Piping and instrument diagram of hydrogen and flammable substance handling process

에서 최대 운전압력은 장애물이 없는 경우 1.065-4.261 MPa이었고, 장애물이 있는 경우에는 1.065-2.130 MPa이었다. 따라서 지표면에서 높이에 따른 수소 취급설비의 운전압력이 Table 3에서 제시한 값 이하일 경우에는 고희석이 되어 수소로 인한 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 없으므로 수소에 대해서는 비폭발위험장소(2중 장소 NE)로 구분할 수 있었다.

3.2.2 위험거리가 1 m 되는 폭발위험장소

수소 취급설비의 누출원에서 수소가 누출될 때 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 있는 장소의 위험거리는 환기등급과 상관없이 KS C IEC 60079-10-1의 부속서 D (폭발위험장소의 추정)에서 제시하는 Fig. 2¹⁾를 이용하여 추정할 수 있는데 X축 누출특성을 구하고, 누출유형 직선과 교차하는 Y축 값으로 추정한다. 동일한 누출특성일 때 누출유형에 따라 위험거리가 달라지는데 무거운 가스(heavy gas)의 위험거리가 가장 컸고, 고속 제트(jet)누출이 가장 작다. 이는 무거운 가스는 누출 후 바닥에 깔려 확산되기 때문이다⁷⁾.

수소의 누출유형은 저속의 확산(diffusive)누출과 방해받지 않는 고속 제트(jet)누출을 적용할 수 있는데^{1,3-5,8)} 누출특성이 일정한 값(X_1 , X_2 지점의 값, 위험거리 1 m) 미만이면 위험거리를 산정할 수 없다^{6,9)}. 따라서 폭발위험장소의 최소 위험거리는 보수

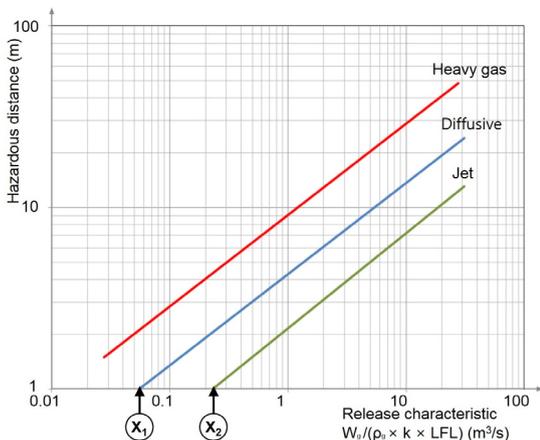


Fig. 2. Chart for estimating hazardous area distances¹⁾

적으로 접근하여 1 m로 추정할 수 있다.

Fig. 2에서 X_1 , X_2 지점의 누출특성은 0.053 m³/s (diffusive), 0.220 m³/s (Jet)로 파악되었다⁶⁾. 수소 누출 시 위험거리가 1 m 되는 수소의 누출유량은 이 값과 식(3)을 이용하여 산정하였고, 위험거리가 1 m 되는 운전압력은 식(2)을 이용하여 산정하였는데 Table 5와 같이 수소 취급설비의 누출원에서 운전압력은 1.505 MPa (diffusive), 6.249 MPa (jet)로 산정되었다. 이때 누출면적은 0.25 mm²를 적용하였다.

3.3 방폭전기기기의 가스그룹 II C 기기 회피 방안

수소로 인해 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 있는 폭발위험장소 내의 방폭전기기기는 KS C IEC 60079-10-1의 부속서 H (수소)에 따라 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용해야 한다¹⁾. 따라서 수소를 직접 취급하는 설비 물론 수소 취급설비의 누출원에서 수소가 누출되어 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 있는 장소의 방폭전기기기도 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용해야 한다.

본 연구에서는 수소를 직접 취급하는 방폭전기기(가스그룹 II C [또는 II B+H₂] 기기 설치·사용)를 제외하고, 수소 취급설비에 인접한 장소에는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용하지 않아도 되는 수소 취급설비의 운전압력을 산정하였다.

Table 3에서 수소 취급설비의 운전압력이 1.065 MPa 이하일 경우 누출원 주변의 장애물 유무 및 지표면에서 높이에 상관없이 수소가 누출되어도 수소로 인한 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 없으므로 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 고려할 필요

Table 5. Release rate and operating pressure according to type of release

Items	Release characteristic (m ³ /s)	Release rate (kg/s)	Operating pressure (MPa)
Diffusive	0.053	1.747E-04	1.505
Jet	0.220	7.255E-04	6.249

가 없다. 따라서 옥외에 설치·사용되는 수소 취급설비의 운전압력이 1.065 MPa 이하일 때 수소를 직접 취급하는 방폭전기기기는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂)로 선정하고, 수소 취급설비와 인접한 장소에 설치·사용되는 인화성 물질 취급설비는 해당 설비에서 취급하는 인화성 물질에 적합한 방폭전기기기를 선정하면 된다.

또한, Table 5에서 수소 취급설비의 운전압력이 1.505 MPa (diffusive), 6.249 MPa (jet)일 때 수소로 인한 폭발성가스분위기가 조성될 우려가 있는 위험 거리는 1 m이므로 해당 압력 이하로 운전되는 수소 취급설비의 누출원에서 이격거리가 1 m를 초과하는

인화성 물질 취급설비는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 선정하지 않고, 해당 인화성 물질에 적합한 방폭전기기기를 선정할 수 있음을 확인하였다.

그리고 옥외에 설치되어 있는 수소 취급설비에서 2차 누출이 발생할 때 누출부위 및 항목과 지표면으로부터 높이에 따라 비폭발위험장소(2종 장소 NE)로 구분할 수 있는 수소 취급설비의 최대 운전압력은 Table 6과 같이 산정되었다. 여기서, 누출면적은 보수적으로 접근하기 위해 KS C IEC 60079-10-1의 부속서 B (누출원의 평가)의 표 B.1에서 권고한 누출면적에서 누출부위 및 항목별 가장 큰 값을 적용하였다¹⁾.

이상의 결과를 종합하여 수소와 인화성 물질 취급

Table 6. Operating pressure according to item

Elevation from ground level		Operating pressure (MPa)				
		Sealing elements on fixed parts				Sealing elements on moving parts at low speed
		Flanges with compressed fibre gasket $0.025 \leq S \text{ (mm}^2) \leq 0.25$	Flanges with spiral wound gasket $S \text{ (mm}^2) = 0.025$	Ring type joint connections $S \text{ (mm}^2) = 0.1$	Small bore connections up to 50 mm $0.025 \leq S \text{ (mm}^2) \leq 0.1$	Valve stem packings $S \text{ (mm}^2) = 0.25$
Unobstructed areas	$\leq 2 \text{ m}$	1.065	10.652	2.663	2.663	1.065
	$>2 \text{ m up to } 5 \text{ m}$	2.130	21.305	5.326	5.326	2.130
	$>5 \text{ m}$	4.261	42.610	10.652	10.652	4.261
Obstructed areas	$\leq 2 \text{ m}$	1.065	10.652	2.663	2.663	1.065
	$>2 \text{ m up to } 5 \text{ m}$	1.065	10.652	2.663	2.663	1.065
	$>5 \text{ m}$	2.130	21.305	5.326	5.326	2.130

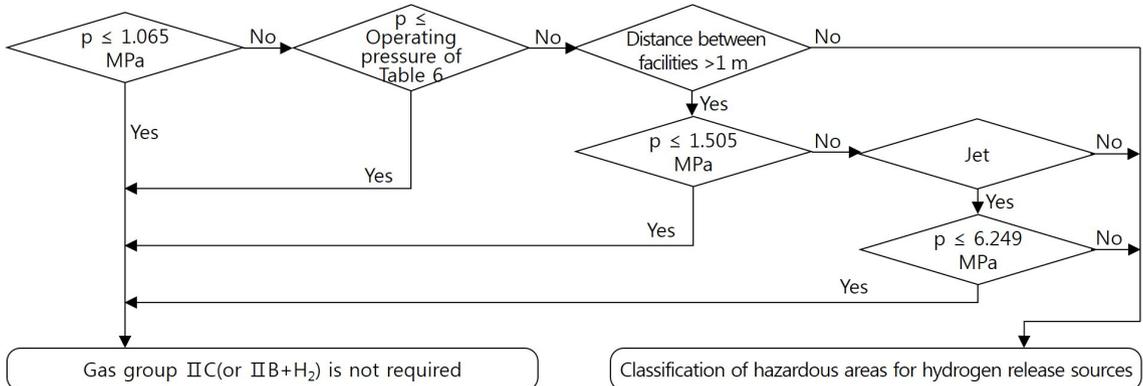


Fig. 3. Flowchart for the selection of explosion proof electrical equipment for flammable substance

공정에서 수소 취급설비의 운전압력과 수소와 인화성물질 취급설비 사이의 이격거리를 이용하여 인화성물질 취급설비의 방폭전기기기 선정 방안을 Fig. 3과 같은 순서도로 제안하였는데 본 자료를 이용하면 수소 취급설비의 운전압력을 이용하여 인화성 물질 취급설비에 적합한 방폭전기기기를 선정할 수 있을 것이다.

4. 결론

인화성 물질을 취급하는 장소는 해당 장소에 적합한 방폭전기기기를 선정해야 한다. 특히, 수소로 인해 폭발성가스분위기가 조성되거나 조성될 우려가 있는 위험장소에는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 설치·사용해야 한다.

따라서 본 연구에서는 수소와 인화성 물질을 취급하는 공정에서 수소에 대한 별도의 폭발위험장소를 구분하지 않고, 방폭전기기기를 선정하는 방안을 제시하였는데 수소 취급설비의 누출원에서 수소가 누출될 때 비폭발위험장소(2종 장소 NE)이거나 위험거리가 1 m 되는 수소 취급설비의 운전압력을 산정하여 수소 취급설비의 누출원에 인접한 인화성 물질 취급설비의 방폭전기기기를 선정할 수 있게 하였다.

옥외에 설치·사용되는 수소 취급설비의 운전압력이 1.065 MPa 이하일 때는 장애물 유무 및 지표면으로부터 높이에 상관없이 수소를 직접 취급하는 방폭전기기기를 제외하고, 수소 취급설비의 누출원에 인접한 인화성 물질 취급설비는 해당 인화성 물질에 적합한 방폭전기기기를 선정할 수 있음을 확인하였다. 또한, 수소 취급설비와 인화성 물질 취급설비 사이의 이격거리가 1 m을 초과하고, 수소 취급설비의 운전압력이 1.505 MPa (diffusive), 6.249 MPa (jet) 이하일 경우 인접한 인화성 물질 취급설비는 가스그룹 II C (또는 II B+H₂) 기기를 선정하지 않아도 됨을 확인하였다. 그리고 옥외에 설치·사용되는 수소 및 인화성 물질 취급공정의 다양한 누출부위 및 항목에서 수소가 누출(2차 누출)될 때 비폭발위험장소(2종 장소 NE)로 구분될 수 있는 수소 취급설비의 최대

운전압력을 제시하고, 이를 종합하여 수소와 인화성물질 취급공정에서 인화성 물질 취급설비의 방폭전기기기를 쉽게 선정할 수 있는 순서도(flowchart)를 제안하였다. 따라서 본 연구 결과는 산업현장에서 방폭전기기기 선정 시 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. KS C IEC 60079-10-1, "Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas-explosive gas atmospheres", Korean Agency for Technology and Standards, Korea, 2017. Retrieved from <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchList.do?jsessionId=EjqbmQums39ZhZdXxXGW9dHq.node01?menuId=919&topMenuId=502&upperMenuId=503>.
2. KS C IEC 60079-0, "Explosive atmospheres - part 0: equipment-general requirements", Korean Agency for Technology and Standards, Korea, 2019. Retrieved from <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchList.do?jsessionId=EjqbmQums39ZhZdXxXGW9dHq.node01?menuId=919&topMenuId=502&upperMenuId=503>.
3. KGS GC101, "Classification code for explosive hazardous area on gas facility", Korea Gas Safety Corporation, Korea, 2018. Retrieved from <https://cyber.kgs.or.kr/kgsgcode.codeSearch.searchByMain.ex.do>.
4. J. H. Kim, M. K. Lee, S. H. Kil, Y. G. Kim, and Y. K. Ko, "Area classification of hazardous gas facility according to KGS GC101 code", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 23, No. 4, 2019, pp. 46-64, doi: <https://doi.org/10.7842/kigas.2019.23.4.46>.
5. D. Y. Pyo and O. T. Lim, "A study on explosive hazardous areas in hydrogen handling facility", Trans Korean Hydrogen New Energy Soc, Vol. 30, No. 1, 2019, pp. 29-34, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.1.29>.
6. P. R. Cho, H. J. Lee, and J. B. Baek, "Study on the negligible extent(NE) and release characteristic of KS C IEC 60079-10-1(2015) standard", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 35, No. 2, 2020, pp. 111-117, doi: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2020.35.2.111>.
7. D. Y. Kim, Y. W. Chon, I. M. Lee, and Y. W. Hwang, "A study on the improvement of classification of explosion hazardous area using hypothetic volume through release characteristic", J. Korea Saf. Manag. Sci., Vol. 19, No. 2, 2017, pp. 31-39, doi: <https://doi.org/10.12812/ksms.2017.19.2.31>.
8. D. C. Jun, "A study on safety policies for a transition to a hydrogen economy", Trans Korean Hydrogen New Energy

Soc, Vol. 25, No. 2, 2014, pp. 161-172, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2014.25.2.161>.

9. N. S. Kim, J. G. Lim, and I. S. Woo, "A study on the examination

of explosion hazardous area applying ventilation and dilution", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 22, No. 4, 2018, pp. 27-31, doi: <https://doi.org/10.7842/kigas.2018.22.4.27>.