

KOSHA GUIDE

D - 7 - 2012

연료전지의 설계 및 취급 안전 기술지침

2012. 7

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 서울산업대학교 안전공학과 박 달재
- 개정자 : 이 정 석
- 제 · 개정 경과
 - 2009년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
 - 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 관련 규격 및 자료
 - HSE, Fuel cells: Understand the hazards, control the risks, 2004
 - KOSHA GUIDE (비상조치 계획 수립 지침)
- 관련 법규
- 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지
안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자: 2012년 7월 18일

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

연료전지의 설계 및 취급 안전 기술지침

1. 목 적

이 지침은 연료전지의 설계자와 사용자에게 연료전지와 연료전지에 사용되는 물질의 위험을 파악하여 이들을 안전하게 취급할 수 있는 방안을 제공하는데 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 전해질이 산성이거나 알칼리성 또는 고온인 연료전지에 적용된다.

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 뜻은 다음과 같다.

- (가) “연료전지”란 산화제와 연료의 화학반응으로부터 생성되는 화학적 에너지를 지속적으로 전기에너지로 변화시키는 전기화학장치를 말한다.
- (나) “고체 고분자형 연료전지(Proton exchange membrane fuel cell 또는 Polymer electrolyte membrane fuel cell, PEMFC)”란 양성자 전도성 고체 고분자 박막을 전해질로 사용하는 연료전지를 말한다.
- (다) “직접 메탄올형 연료전지(Direct methanol fuel cell)”란 탄화플루오르산 중합체를 전해질로 사용하여 연료극에서 메탄올이 직접 산화되는 연료전지를 말한다.
- (라) “인산형 연료전지(Phosphoric acid fuel cell, PAFC)”란 탄화플루오르 결합형 매트릭스를 포함한 인산 박막을 전해질로 사용하는 연료전지를 말한다.
- (마) “알칼리형 연료전지(Alkaline fuel cell, AFC)”란 수산화칼륨 전해액을 흡수한 매트릭스를 전해질로 사용하는 연료전지를 말한다.
- (바) “용융 탄산염형 연료전지(Molten carbonate fuel cell, MCFC)”란 저용융점을 가

지는 탄화리튬과 탄화칼륨의 혼합물과 결합한 매트릭스를 전해질로 사용하는 연료전지를 말한다.

(사) “고체 산화물형 연료전지(Solid oxide fuel cell, SOFC)”란 고체 지르코늄산화물을 전해질로 사용하며 고온에서 작동되는 연료전지를 말한다.

(아) “연료극(Anode)”이란 전지의 산화반응을 발생시키는 전극으로 전지에서 이 전극은 물질로부터 전자를 받아들인다.

(자) “공기극(Cathode)”이란 전지의 환원반응을 발생시키는 전극으로 전지에서 이 전극은 물질에 전자를 공급한다.

(차) “개질기(Reformer)”란 탄화수소 연료를 연료전지에 사용하기 적합한 수소과잉 연료 가스로 화학적으로 전환시키는 촉매 장치를 말한다.

(카) “외부 개질(External reforming)”이란 연료전지에 수소를 공급시키기 전에 탄화수소나 다른 수소 과잉연료로부터의 수소를 발생시키는 것을 말한다.

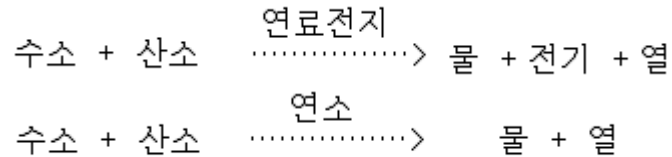
(타) “막(Membrane)”이란 공기극과 연료극 칸막이에서 가스를 분리하는 보호필름과 같은 역할을 전해질에서 수행하는 특정 연료전지(고체 고분자형 연료전지 및 직접 메탄올형 연료전지)에서의 분리막을 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 의한다.

4. 연료전지 원리, 종류 및 특성

4.1 원리

(1) 연료전지는 수소 또는 수소과잉 연료가 물(H_2O)의 산소와 반응할 때 생성되는 에너지를 활용하기 위한 장치이다. 일반적으로 수소와 산소가 반응할 때는 화염과 열에너지가 발생된다. 그러나 연료전지 내에서는 화염은 발생되지 않고 전기와 열만 발생된다. 연료전지의 반응과정은 다음과 같다.



- (2) 연료전지와 축전지는 전극에서 발생하는 화학반응으로부터 전류를 발생시키는 전기적 화학장치로 그 특성이 유사하다. 그러나 축전지는 전기를 저장하며 규칙적인 재충전 또는 교환을 요구하는 반면, 연료전지는 연료가 공급되는 한 장기간 전기를 계속해서 발생시킨다.
- (3) 단일 연료전지는 2개의 얇은 침투성 전극인 공기극(Cathode)과 연료극(Anode) 사이에 삽입된 전해질로 구성된다. 전지의 연료극은 수소분자(H_2)를 2개의 수소이온(H^+)과 2개의 전자(e^-)로 분리하는 특수한 촉매로 도금된다. 연료극에서 생성된 전자는 연료전지에 연결된 외부회로에 전류를 생성시킨다. 전지의 공기극에 공급된 산소는 수소이온과 외부회로로부터 회수되는 전자와 반응하여 물을 생성한다.

4.2 종류 및 특성

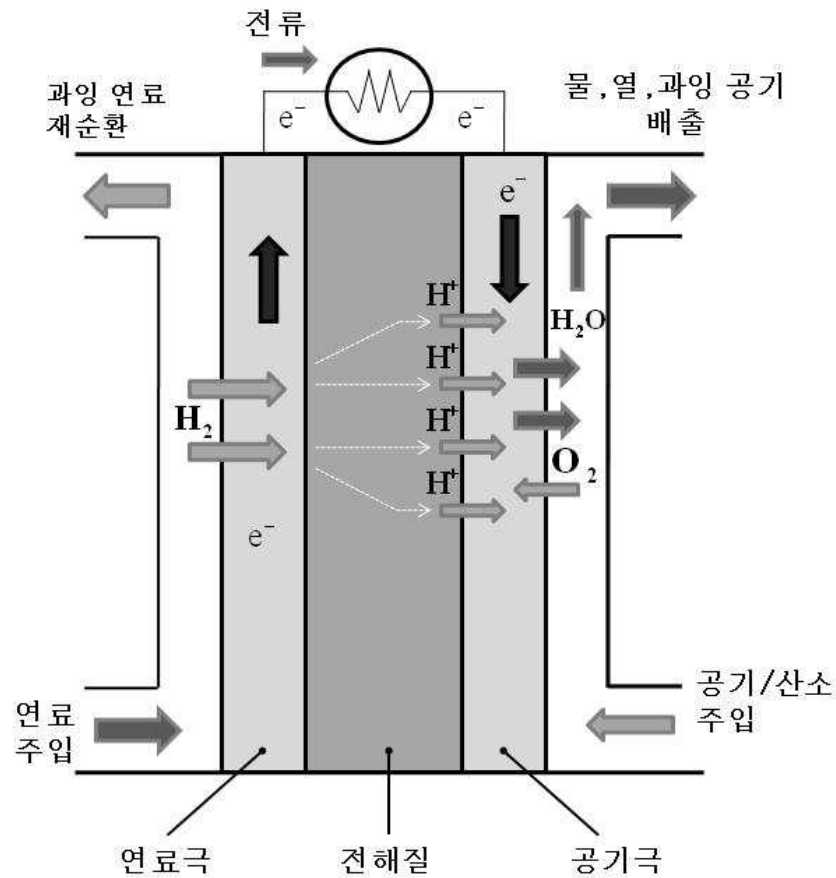
- (1) 연료전지의 종류에 따른 특성과 전극(연료극과 공기극) 반응을 나타내면 <표 1>과 같다.
- (2) 연료전지는 3가지 즉, 전해질이 산성, 전해질이 알칼리성 및 고온에 작동하는 연료전지로 분류할 수 있다.
- (가) 산성 전해질 연료전지의 대표적인 예는 인산형연료전지(PAFC)와 고체고분자형연료전지(PEMFC)이다.
- ① 고체고분자형과 인산형 연료전지에서는 연료극에서 생성된 수소이온은 전해질을 통과하여 공기극으로 이동한다. 공기극에서 수소이온은 산소와 외부회로를 거쳐 회수되는 전자와 반응하여 물을 생성한다.
 - ② 고체고분자형 연료전지의 전해질은 탄화플루오르 중합체이다. 수소가스와 전자는 전해질을 통과하지 못하지만 수소이온은 전해질을 통해 연료극에서 공기극으로 이동한다. 인산형 연료전지의 전해질은 탄화플루오르 결합형 매트릭스를 포함한 인산 박막이다. 고체고분자형과 인산형 연료전지의 전극은 백금으

로 도금된다. 이 장치들의 전해질은 매우 얇아 다수의 전지를 직렬로 배열하여 셀 스택을 구성할 수 있다.

- ③ 고체고분자형과 인산형 장치는 소형이나 큰 힘을 발생시킬 수 있다. 고체고분자형 장치는 버스나 전차와 같은 대형 운송수단에 사용되고 있다. 인산형 장치는 200 kW 이상의 전력을 출력하는 고정식 발전에 널리 사용된다.

<표 1> 연료전지의 종류 및 전기화학적 특성

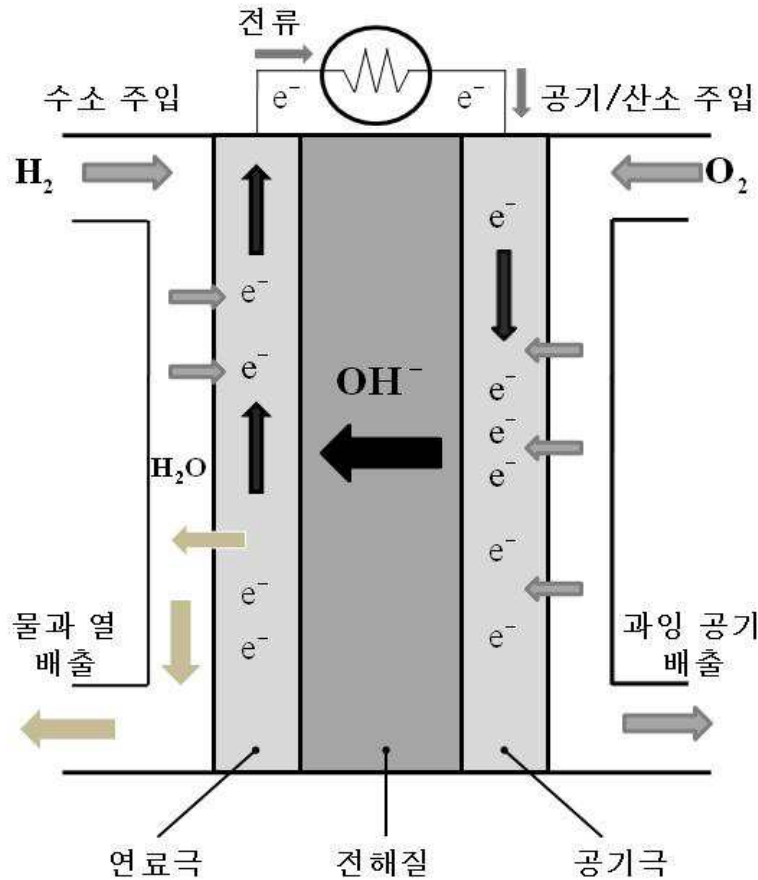
연료전지 종류	전해질	작동온도(℃)	전극 반응
PEMFC : 고체 고분자형 연료전지	탄화플루오르산 중합체	60-100	연료극 : $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$ 공기극 : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
DMFC : 직접 메탄올형 연료전지	탄화플루오르산 중합체	60-100	연료극 : $2CH_3OH + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 12H^+ + 12e^-$ 공기극 : $12H^+ + 3O_2 + 12e^- \rightarrow 6H_2O$
PAFC: 인산형 연료전지	액화 인산 결합형 매트릭스	175-100	연료극 : $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$ 공기극 : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
AFC : 알칼리형 연료전지	수산화칼륨 용액을 흡수한 매트릭스	90-100	연료극 : $2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$ 공기극 : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
MCFC : 용융 탄산염형 연료전지	용융 리튬과 나트륨/탄산 칼륨 결합형 매트릭스	600-1000	연료극: $2H_2 + 2CO_3^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^- + 2CO_2$ 공기극 : $O_2 + CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
SOFC : 고체 산화물형 연료전지	소량의 산화이테르를 포함한 고체 지르코늄산화물	600-1000	연료극 : $2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$ 공기극 : $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$



<그림 1> 고체고분자형 연료전지

(나) 알칼리 전해질 연료전지의 예로는 알칼리형 연료전지(AFC)가 있다.

- ① 이 전지는 주로 수산화칼륨 수용액을 전해질로 사용하며, 고온(100 ℃ ~ 250 ℃)에서 작동한다.
- ② 알칼리형 연료전지는 발전방법이 다른 연료전지와 상당히 다르다. 공기에서 전지로 공급되는 산소는 공기극에서 물과 반응하여 수산화이온을 생성시킨다.
- ③ 이 수산화이온은 연료극으로 이동하여 수소와 촉매 반응을 일으켜 물을 생산하고, 전자는 외부회로로 이동한다.
- ④ 이 전지에서 물은 다른 연료전지들의 경우와 달리 공기극이 아닌 연료극에서 생성된다.

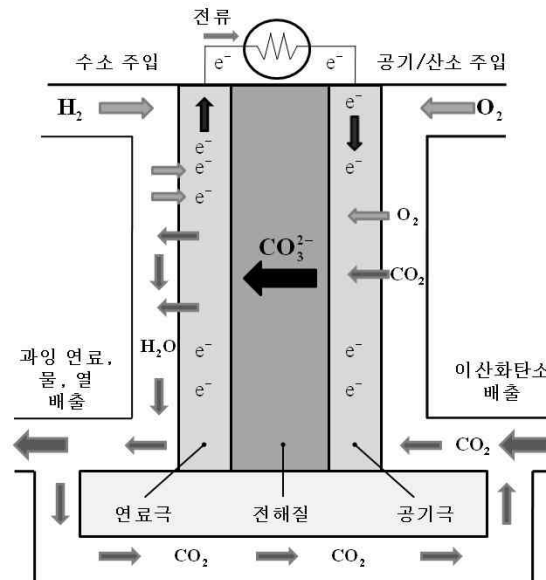


<그림 2> 알칼리형 연료전지

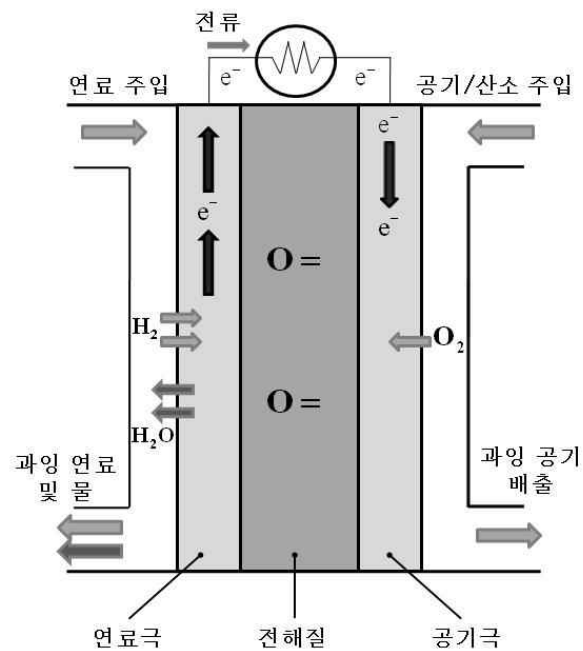
(다) 고온형 연료전지의 예에는 용융탄산염형 연료전지(MCFC)와 고체산화물형 연료전지(SOFC)가 있다.

- ① 용융탄산염형 연료전지(MCFCs)는 약 650 ℃의 온도에서 작동하며, 전해질로 용융 금속 탄산염 결합형 다공성 세라믹 매트릭스를 사용한다. 공기극에서 산소와 이산화탄소는 전해질을 통해 연료극으로 이동하는 탄산염 이온으로 화학변화를 하며, 연료극에서 탄산염 이온은 수소와 반응하여 이산화탄소와 물을 생산한다.
- ② 고온에서 작동되는 이 전지는 저가의 촉매의 사용이 가능하다. 전지는 독립된 개질기를 요구하지 않는다. 용융탄산염형 연료전지는 공급된 산소 중의 이산화탄소로 인해 손상을 입지 않아 다양한 연료의 사용이 가능하다.
- ③ 고체 산화물형 연료전지(SOFCs)는 단단한 비 다공성 세라믹을 전해질로 사용

한다. 약 1000 °C 정도의 운전온도는 이 전지들이 탄화수소 연료의 내부 개질과 저가의 촉매 사용을 가능하게 한다. 고체 산화물형 연료전지는 황과 일산화탄소의 독성에 대해 강한 저항력을 가지고 있기 때문에 다양한 연료의 사용이 가능하다.



<그림 3> 용융탄산염형 연료전지



<그림 4> 고체산화물형 연료전지

5. 연료전지 장치와 관련된 위험요인

연료전지의 설계, 설치, 사용 및 유지와 관련된 모든 사람은 연료전지와 관련된 기술과 연료전지에 사용되는 물질의 위험요인을 정확히 이해해야 한다. 연료전지 설치와 관련된 주요 위험은 화재 및 폭발, 노출영향, 전기충격 등을 포함한다. 여기서는 수소가 연료일 때, 화재나 폭발로부터의 위험성을 제어하는 방법에 대해 중점적으로 취급한다.

5.1 화재 및 폭발 위험

5.1.1 연료

- (1) 전지의 사용에 적합한 연료는 화재 및 폭발사고를 야기시킬 수 있다.
- (2) 수소, 가솔린, 메탄, LPG 등의 연료는 화재나 폭발을 발생시킨다. 누출된 인화성 가스 또는 액체 연료와 공기가 혼합하여 생성된 혼합물의 농도가 폭발범위 내에 존재하게 되면 폭발 분위기가 형성된다. 이때 점화원이 존재하게 되면 폭발이 발생하게 된다.
- (3) 가솔린과 메탄은 수많은 사람들이 일상적으로 사용하는 연료이다. 대부분의 사용자는 이 연료들의 특성과 연료를 안전하게 취급하는 방법을 잘 이해하고 있으나 수소 특성에 대한 이해는 일반화되지 않아 수소를 안전하게 취급하는 방법을 이해하지 못하고 있다.

5.1.2 수소의 위험성 및 저장

- (1) 수소연료의 화재 또는 폭발 발생 가능성과 관련된 주요 특성을 나타내면 다음과 같다.
 - (가) 다른 인화성 물질보다 광범위한 연소범위
 - (나) 매우 낮은 점화 에너지
 - (다) 폭굉의 가능성
 - (라) 낮은 점성

(마) 높은 확산성

(바) 공기보다 매우 가벼운 가스

(사) 일부 금속에 취성 야기

(아) 극저온 저장 설비에서 산소과잉 액체 공기의 응축

- (2) 수소의 최소 점화에너지는 0.02 mJ이며, 이는 메탄올, LPG 또는 가솔린과 같은 다른 연료 점화에너지의 약 1/10 정도이다.
- (3) 수소의 폭발하한계(LEL)는 4 %(부피단위)이고 폭발상한계(UEL)는 75 %(부피단위)로 대부분의 탄화수소 연료보다 훨씬 넓다.
- (4) 수소와 다른 인화성 연료와의 중요한 차이점은 밀폐되거나 설비 또는 장치가 밀집된 지역 내에 수소가 누출되어 폭발이 발생하게 되면 폭풍으로 전이될 가능성이 높다는 것이다.
- (5) 수소 연료의 폭발은 다른 인화성 연료의 폭발보다 커다란 손상을 야기시킬 수 있으므로 매우 위험하다. 이에 수소연료 폭발에 대한 위험성은 수소를 취급하거나 저장하는 방법에 대한 위험성 평가를 수행할 때에 항상 고려하여야 한다.
- (6) 수소연료는 점성이 매우 낮아 수소 설비에서 수소 누출 발생을 예방하는 것이 매우 어려워 가연성 혼합물의 형성 가능성이 증가된다.
- (7) 수소는 공기나 천연가스(메탄)보다 매우 가벼운 가스로 누출되면 상부방향으로 확산되어 상부에 체류할 가능성이 있다. 개방형이거나 환기가 잘되는 장소에서 누출이 발생하면 수소의 확산성과 부력 특성으로 인해 누출된 인근에서의 가연성 혼합물의 형성 가능성은 적다.
- (8) 그러나 환기가 잘되지 않거나 폐쇄형 공간에서 수소 누출이 발생했을 때 수소는 상부(지붕 쪽 등)에 체류할 가능성이 높아 폭발범위 내에 급격히 도달할 수 있다. 절연되지 않은 전기장치나 다른 점화원이 존재하면 폭발의 위험성은 크게 증가된다.
- (9) 거의 모든 수소는 일반적으로 고압의 원통형 용기에 저장되나 미래에는 액체 수소의 극저온 저장시설이 더 널리 보급될 전망이다. 액체수소를 저장하기 위한 극저

온 저장시설(약 -250°C)은 심각한 동상과 보호되지 않는 배관에서 산소과잉 액체 공기의 응축을 야기시킬 수 있다.

- (10) 액체 수소의 끓는점은 대기압에서 -253°C 이며 극저온 저장시설에서 수소액체가 누출되는 경우 극저온 상태로 누출하게 되어 공기보다 무겁다. 이에 초기에 누출된 가스는 무거운 가스처럼 거동하며 폭발 분위기가 형성된다. 시간이 지남에 따라 수소가스는 부양하면서 가벼운 가스처럼 거동하게 된다.
- (11) 수소 연료의 저장 방식에는 ‘전통적인 수소화물’과 ‘복합 수소화물’, 2가지 유형이 있다. ‘전통적인 수소화물’은 전이금속의 분자 격자 사이의 가역 수소 병합을 사용한다. ‘복합 수소화물’은 나트륨 알루미늄 수소화물과 유사한 물질들을 포함하며 가역 반응을 통하여 수소를 저장한다. 이런 물질들은 수소와 부식성 수용액을 생성하기 위해 강하게 물과 반응하는 가연성 고체이다.
- (12) 저장 방식에 따른 수소의 저장압력은 저장온도와 충전/방전 상태에 의존하나 1000 kPa를 초과할 수도 있다.

5.1.3 기타 연료의 위험성

- (1) 대부분의 전지는 독립된 개질기를 이용하여 탄화수소를 수소로 개질시켜 사용한다. 일부 고온형 연료전지는 독립된 개질기 없이 적당한 탄화수소 연료로 운전될 수 있다.
- (2) 고온형 연료전지 또는 개질기에서의 반응은 탄화수소 연료를 수소와 이산화탄소로 전환시킨다. 대형 전지인 경우 이산화탄소의 방출은 효과적으로 이루어져야 하며 질식 위험성을 방지하기 위해 봉쇄나 환기와 같은 적절한 방법이 사용되어야 한다.
- (3) 천연가스(메탄)는 공기보다 가벼우나 수소보다는 무거워 상부로 확산되는 속도는 수소보다 느리다.
 - (가) 천연가스의 폭발 상·하한계는 5~15 %(부피단위)이며 수소의 폭발 상·하한계보다 좁다.
 - (나) 수소나 천연가스를 연료로 사용하는 연료전지를 설계하고 연료전지 설비를 운전시킬 때에는 충분히 천연가스와 수소의 물리적 특성을 고려해야 한다.

(다) 연료전지에 천연가스를 공급하기 위해 사용되는 관련 장치와 배관은 적절해야 하며 적합한 규격으로 설계되어야 한다.

(4) LPG 증기는 특히 차가울 때 공기보다 상당히 무겁다. 이에 누출 발생 시 LPG 증기는 무거운 가스로 거동하며 하부(바닥 또는 저지의 웅덩이)에 축적된다.

(가) 대기 중 LPG의 농도가 1~10 %(부피단위)의 범위에 들면 쉽게 점화되어 폭발한다. LPG와 수소를 병용하는 설비에서는 2 연료의 부력과 확산 특성에 대해 주의 깊게 고려해야 한다.

(나) 연료전지에 LPG를 공급하기 위해 사용되는 관련 장치와 배관은 적합해야 하며 적합한 규격으로 설계되어야 한다.

(5) 일부 연료전지에서는 메탄올이 직접 사용된다. 가연성·유독성 물질인 메탄올은 누출 시 화재·폭발 위험성이 있으며, 이 물질을 흡입 또는 피부에 노출 시 매우 유독하다. 이러한 위험을 예방하기 위해서는 봉쇄, 환기와 같은 적절한 방법이 사용되어야 한다.

5.1.4 점화원

(1) 일반적인 점화원의 종류는 다음과 같다.

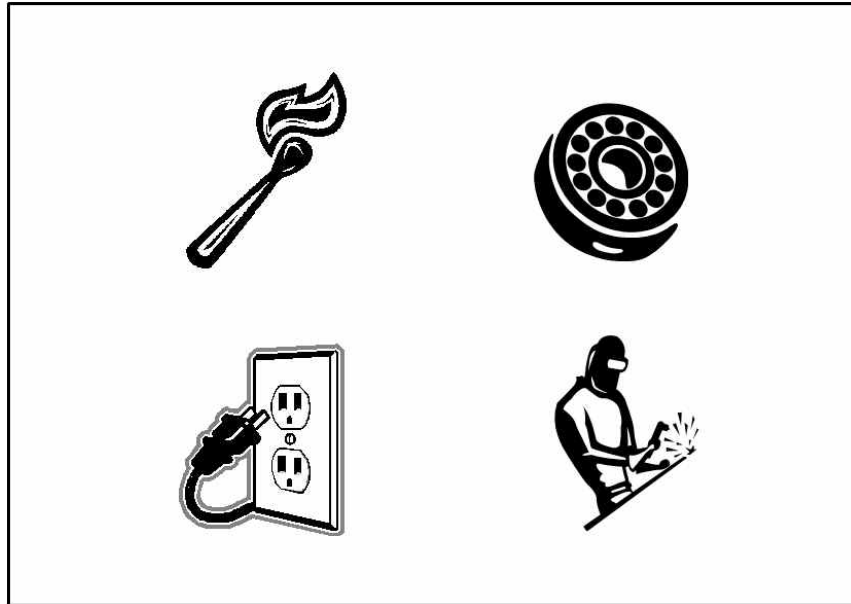
(가) 용접·연소·분쇄로부터의 화염과 불꽃

(나) 불완전한 접지 또는 비전도성 배관으로부터의 정전기

(다) 모터, 스위치, 계전기, 핸드폰으로부터의 전기 불꽃

(라) 기계 충돌로 인한 불꽃

(마) 고온 표면 예) 베어링



<그림 5> 점화원의 예

5.2 전기 위험

- (1) 연료전지와 연료전지 관련 장치 설계·운전·유지관리 시에는 전기 위험을 항상 고려해야 한다.
- (2) 연료전지 장치 내 전기적 위험은 2 개의 구역 즉, 240 V 또는 415 V의 본선 교류 전압 공급장치와 연료전지 스택의 직류전압 전기 출력장치에서 발생한다. 대형 연료전지 장치인 경우에는 전기위험과 관련된 하나의 구역이 더 존재하며 이는 연료전지에 연결된 교류전압 출력 변환장치에서 발생된다.
- (3) 스택의 각 구성품(연료전지)에서 발생하는 전압과 전류는 매우 작다. 그러나 스택으로부터의 총 출력전압의 범위는 200~400 V이다.
- (4) 대형 연료전지 스택은 치사 전압과 대전류를 발생시킬 수 있다. 금속체가 전지의 출력 부분과 교차하면 회로 단락이 야기되어 대전류가 금속체를 통하여 흐르게 된다. 이는 짧은 시간 내에 고온과 스파크를 발생시킨다.
- (5) 연료전지와 관련된 전기설비는 적합한 기준에 의해서 설계 및 설치되어야 한다. 또한 이 설비에 대한 접근은 충분한 자격을 갖춘 자에게만 허용되어야 하며 전기설

비 배치는 적절히 이루어져야 한다.

6. 화재 및 폭발에 대한 위험관리

화재 및 폭발의 위험성을 최소화시키기 위해 위험성이 적은 연료 선정 또는 수소 연료의 교체 고려, 가연성 혼합물의 형성 방지, 점화원 제거, 폭발 억제·봉쇄 또는 완화 등의 방법을 사용한다.

6.1 가연성 혼합물의 형성 방지

폭발 분위기 형성 가능성은 봉쇄, 격리, 분리, 환기 등의 방법을 사용하여 감소시킬 수 있다.

6.1.1 봉쇄

- (1) 위험 물질의 누출을 방지하는 것이 가장 우선순위이다. 만일 누출을 예방할 수 있다면, 폭발 분위기의 형성은 방지되며 폭발의 위험성은 제거된다.
- (2) 수소 취급 장치의 설계·운전·유지관리에 대한 주의는 잠재적인 누출 가능성을 최소화시킬 수 있으며 이로 인해 폭발 위험성을 크게 감소시킬 수 있다. 다음은 누출 가능성을 방지하기 위하여 고려하여야 할 항목이다.
 - (가) 저장장치, 배관 및 연결장치가 승인된 수소 장치의 기준과의 부합 여부 확인
 - (나) 유지관리가 효과적으로 수행되고 있으며, 공인된 자격을 갖춘 자에 의해서만 수행되는지 확인
 - (다) 연결장치 교체 빈도 최소화
 - (라) 독립적으로 연결된 원통형 용기보다 재충전 가능한 고정형 저장용기 사용
 - (마) 배관의 최소 길이와 크기 사용
 - (바) 가능한 한 이음매(joint)의 수를 최소화
 - (사) 접합 배관에 용착연결(용접 등) 또는 플랜지/ 나삿니를 이용한 연결

- (아) 수소 설비를 사용하기 전에 수소 설비에 대한 누출 시험 여부 확인
 - (자) 정기적으로 설비에 대한 적절한 검사의 수행 및 결과 문서화
 - (차) 정기적으로 설비의 안전과 유지관리 이력 검토
- (3) 고압 수소 저장소는 적합한 설계 코드 또는 기준에 따라 설계·건설되어야 하며 안전한 옥외에 위치되어야 한다. 비 승인된 자의 접근, 시설물 파괴 및 차량 충돌을 예방하기 위해 사용된 방법은 그 장소에 적합하여야 한다.
 - (4) 압축 수소용기의 옥내 저장은 권장되지 않으나 단층건물, 특정한 목적을 위해 설계된 건물, 효율적인 환기, 내화성 건물 및 폭발 릴리프와 같은 적절한 안전수단이 제공된 경우와 위험이 합리적으로 실행될 수 있을 만큼 감소된 곳은 예외로 한다. 그러나 가능한 옥외 장소의 사용을 권장한다.
 - (5) 극저온 수소 저장설비는 적합한 코드에 따라 설치되어야 하며, 사용 중인 건물에 위치하지 말고 적합한 옥외에 위치되어야 한다. 저온 저장설비에는 강력한 산화제인 산소과잉 액체 공기응축을 예방하기 위해 적절한 수단을 제공해야 한다. 인화성 물질(아스팔트, 타맥 등)은 응결이 발생할 수 있는 배관의 아래에 존재하지 말아야 한다.
 - (6) 수소 공급에 적합한 배관장치와 관 부속품을 사용해야 한다. 구리는 저압 배관에 주로 사용되며 백동, 스테인리스강은 고압 배관에 사용되는 재질이다. 모든 배관 이음쇠는 용접되어야 한다. 플랜지 또는 나선행의 이음쇠는 사용 가능하나 가능한 사용을 피해야 한다.
 - (7) 수소 설비에서 압축조인트(Compression joint)는 누출 가능성이 있으므로 일반적으로 권장되지 않는다. 소구경 배관과 같이 압축조인트 사용이 필연적으로 고려되면, 압축조인트는 작업에 적합해야 되고 제품 사용설명서에 따라서 엄격하게 사용되어야 한다.

6.1.2 격리 및 분리

- (1) 수소 설비 및 각 구성품의 배치가 적절한 방법으로 이루어지면 폭발 가능성은 상당히 감소될 수 있다. 폭발의 위험성은 수소 취급 장치가 전기 장치 또는 다른 점

화원으로부터 적절히 이격되면 상당히 감소된다.

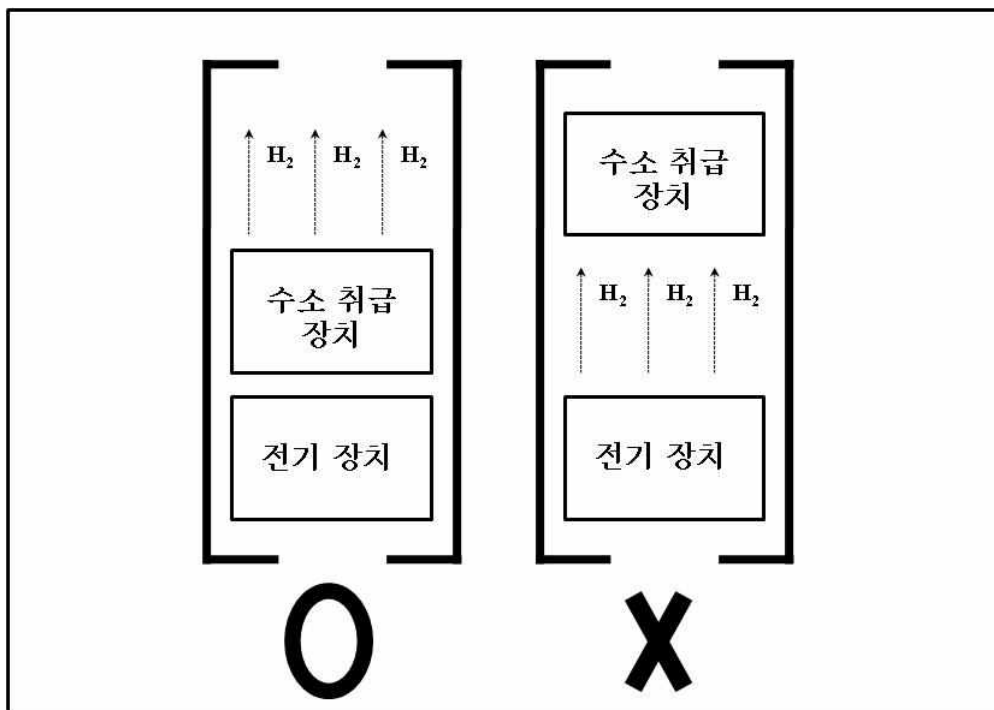
(2) 연료전지의 설계 또는 연료전지 각 부속품의 배치 및 설치 시 다음과 같은 사항을 고려하면 화재나 폭발의 위험성을 감소시킬 수 있다.

(가) 예측가능한 점화원으로부터 수소 취급장치를 분리시키고 물리적으로 격리한다.

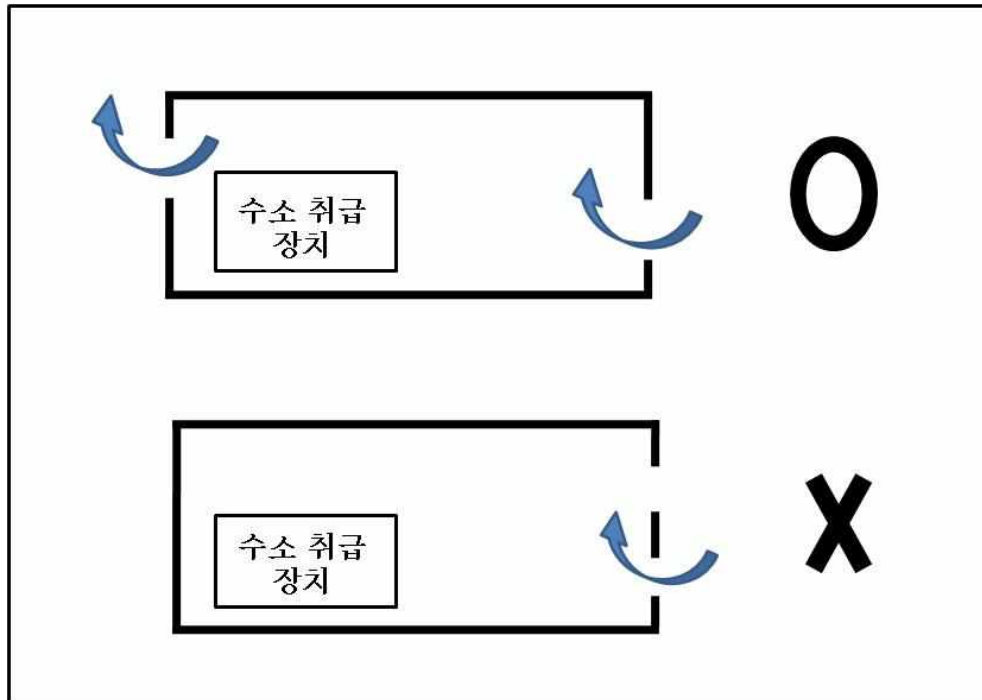
(나) 수소 저장 구역과 연료전지의 전기출력 장치로부터 연료전지를 격리한다.

(다) 수소가 누출할 수 있는 특정 장치로부터 잠재적인 점화원은 아래에 위치시킨다.

(라) 비내화성의 전기 광원 장치와 같은 잠재적 점화원을 수소가 축적될 수 있는 곳 아래의 수평의 격벽 또는 비침투성 천장 바로 아래 위치시키지 말아야 한다.



<그림 6> 수소 취급 장치와 전기 장치의 배치



<그림 7> 수소 취급 장치 구조물의 환기에 대한 예

- (마) 수소가 누출될 수 있는 특정 지역, 구조물 또는 주택 등은 높고 낮은 위치에 환기 설비를 효과적으로 위치시켜야 한다.
- (바) 보호되지 않은 전기 장치 또는 고압선 아래에 수소를 저장하거나 또는 수소를 이용하는 설비를 위치시키지 말아야 한다.
- (사) 수소누출 가능성을 감소시키기 위해 기밀성이 우수한 구획 또는 칸막이벽 및 환기설비를 사용한다.

6.1.3 이격거리

- (1) 이격거리는 중요 사고로 확대되는 앗차사고의 방지와 예측 가능한 사고의 영향을 완화시키기 위해 필요한 최소 거리이다. 이격거리는 점화원으로부터 고압 수소 저장소, 또는 위험요소로부터 취약 대상(사람 또는 설비)을 이격시키기 위해 적용된다.
- (2) 이격 거리는 수소설비로부터 사람과 인근 설비에게 수소누출로 인해 제트화재 사

고에 대한 적절한 방호 수준을 제공하기 위한 것으로 차량 또는 기계장치 충돌, 인화성 물질의 누출, 점화원 또는 외부화염으로 인한 복사열 영향 등과 같은 사고로부터 설비를 방호하기 위해 계산된 거리이다.

- (3) 수소 또는 다른 위험물질을 취급하거나 저장하는 설비 주위에 설정된 이격 거리는 안전한 설치의 설계를 위한 기본적 요구사항이며 수소 누출이 발생 할 수 있는 설비에 대해 제시된 이격거리를 산정해야 한다.
- (4) <표 2>에 제시된 최소이격거리의 사용이 용이하지 않은 경우에는 적절한 내화벽 또는 다른 위험 감소 기술을 사용해야 한다.
- (5) 권고된 이격거리가 적절하지 않는 경우에 작업자의 의무는 위험이 수용할만하고 합리적으로 실행 가능할 만큼 낮은 수준으로 감소되었음을 적절한 평가를 통해 입증해야 한다.

<표 2> 최소 이격거리

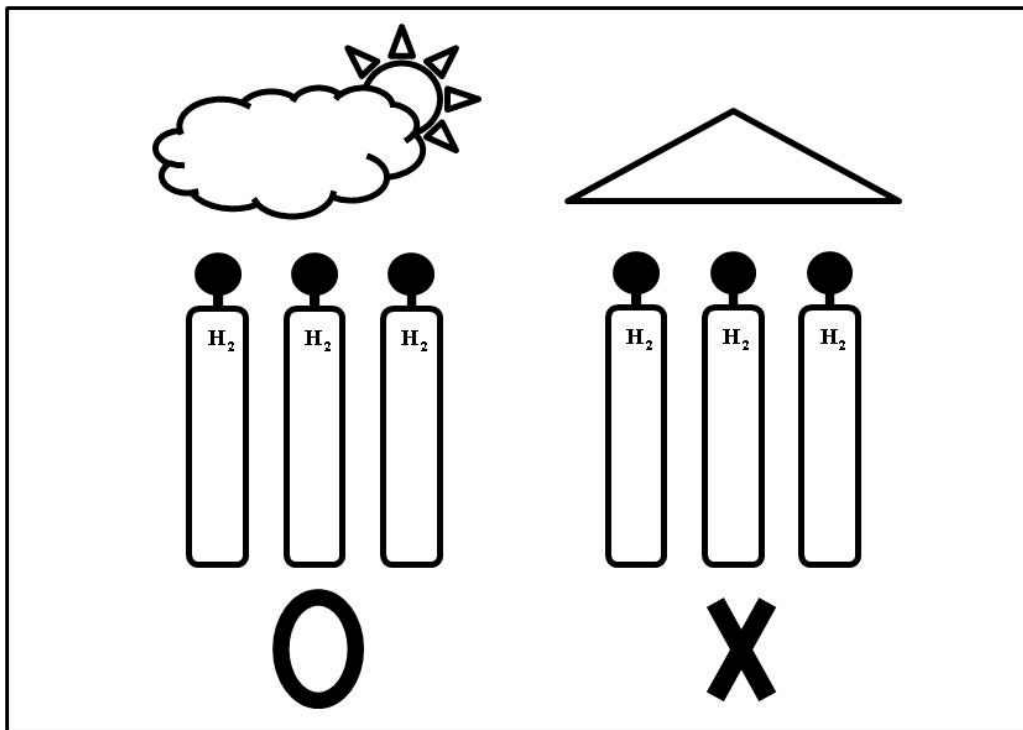
	노출 유형	수소공급원으로 부터의 거리(m)
1	불확실한 전기장치를 포함한 화기, 점화원	5
2	주차장과 같이 사람들이 모인 장소 또는 구역	8
3	건물, 목재 건축물	8
4	사무실 또는 작업장의 창문(개구부 바로 아래에 설치가 되어서는 안 된다)	5
5	지상에서의 대량의 인화성 액체 또는 LPG	8
6	지하에서의 대량의 인화성 액체 또는 LPG	5
7	수소 이외의 원통형의 인화성 가스 저장소	5
8	원통형의 산소 저장소	5
9	액체 산소 저장소	8
10	액체 질소 또는 아르곤 저장소	5
11	목재와 같은 부식성 물질 저장소	8
12	공기 압축기와 통풍 구멍(통풍 구멍 같은 것 바로 아래에 설치하지 않는다.)	8
13	수소 설비와 직접 관련된 것 외 기타	5

6.1.4 환기

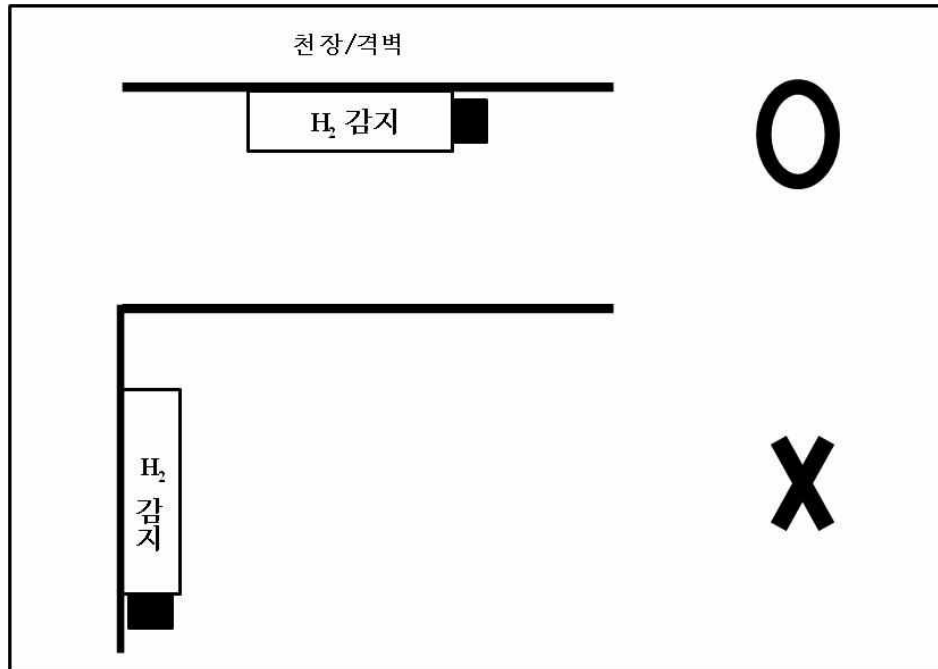
- (1) 환기는 폭발의 위험성을 감소시키는 매우 효과적인 방법으로 연료/공기 혼합물의 농도가 폭발하한계(LEL) 이하로 감소되면 폭발은 발생되지 않는다.
- (2) 예측 가능한 특정 위험 물질의 누출이 사람의 안전에 영향을 줄 수 있는 농도로 축적되지 않도록 해야 하며, 이를 위해 적절한 환기 설비가 제공되어야 한다. 효율적인 환기를 제공하기 위해서는 다음 사항을 검토한다.
 - (가) 수소 저장/취급 장치를 옥외에 위치
 - (나) 예상 가능한 최대 누출속도 산정
 - (다) 적절하게 높고 낮은 위치에 환기설비 제공
 - (라) 낮은 천장, 차양, 덮개, 지붕에 대해 주의
 - (마) 회석 공기가 안전한 장소로 배출되는 지 확인
 - (바) 안전한 장소로 수소의 배출·제거 여부 확인
 - (사) 복잡한 환기가 요구될 경우 전산유체역학 수행
- (3) 수소와 다른 위험 물질을 취급하는 연료전지 설비의 구성 부품은 옥외에 위치되어야 한다. 만일 옥내에 설치되었을 경우, 옥외 장소를 사용하는 것이 합리적으로 실행 가능하지 않았으며 선정된 장소에서의 설비로부터의 위험성이 허용할 만한 수준이었음을 작업자는 입증해야 한다.
- (4) 수소 저장을 위해 옥외 부지를 사용할 때 특정 누출에 대한 효과적인 회석이 이루어져야 한다. 옥외에 수소 저장·공급 설비를 설계할 때에는 폭발 분위기 축적 가능성을 최소화시키기 위해 아래의 사항을 따라야 한다.
 - (가) 높이가 낮은 불침투성 지붕, 차양, 격벽의 사용 회피
 - (나) 처마 또는 다른 돌출된 구조물 아래 위치시키지 말 것
 - (다) 방벽보다는 비연소성 울타리 사용

(라) 저장 설비 주위에 벽이 필요한 경우에는 적절하게 높고 낮은 위치에 환기 개구부 확보

- (5) 밀폐 또는 부분밀폐 지역에서 수소를 사용하거나 저장 할 때는 항상 효율적인 환기를 통하여 폭발 분위기의 형성을 방지하여야 한다. 그 지역에서의 예측 가능한 누출공의 크기를 산정하여야 하며, 이는 요구되는 환기량 계산을 위한 기초로 사용된다. 환기는 수소 설비 지역 내에 수소 농도가 폭발하한계의 10 %(부피단위) 이하로 유지되기에 충분해야 한다. 수소 설비가 위치하는 얇은 구조물에서 연료전지 하우스 또는 구획 내에서 환기는 수소의 농도가 폭발하한계의 25%인 1.0 %(부피단위)를 초과하지 않아야 한다.



<그림 8> 옥외 장소에 수소 저장설비 배치에 대한 예



<그림 9> 수소누출 감지장치 배치에 대한 예

- (6) 수소 농도를 효과적으로 감지할 수 있는 장치가 구비되어 있고 감지장치가 적절한 폐쇄시스템에 연동되어 있는 경우에는 수소농도가 최대 2 %(부피단위)가 될 때까지 캐비닛 또는 하우징을 운전하는 것은 수용할 만한 것으로 간주한다.
- (7) 자연 환기가 요구되는 회석을 제공하기 못할 때는 항상 적절한 강제 환기 방법을 사용한다. 이러한 경우 환기장치의 고장 또는 검출되는 수소 농도의 증가 시 적절한 감지 및 폐쇄 시스템은 그 장소로 수소 공급을 안전하게 고립시켜야 한다.
- (8) 강제 환기설비의 설계 시 잠재적 폭발성 기류 내에 팬 모터를 위치시키지 말아야 한다. 환기팬을 개구부 근처에 위치시키고 구조물 내의 공기를 환기시킨다. 배출구 근처에 환기팬을 위치시키지 않고, 시스템에서 잠재적으로 오염된 공기를 배출하기 위해 환기팬을 사용한다.
- (9) 많은 연료전지 모듈에 존재하는 냉각/공기 송풍기 또는 압축기는 효과적인 환기를 제공하는데 적합하다. 이것이 사용되는 장소에서의 공기는 안전한 장소로부터 공급되어야 한다.
- (10) 누출 시 상부방향으로 확산하는 수소는 불침투성 천장과 격벽의 상부에 축적될

수 있다. 이는 커다란 위험을 발생시킬 수 있으므로 수소누출이 발생될 수 있고, 환기설비가 설계된 영역에 사용된 전기장치의 종류와 위치를 확인하고 그 종류와 위치가 적절한지 검토해야 한다.

- (11) 내부 칸막이와 격벽은 잠재적인 수소누출 지역으로부터 점화원을 효과적으로 격리시키기 위해 사용된다. 분리된 구획의 가압 차이는 점화원을 포함한 지역으로 수소의 유입을 방지하는데 사용된다. 이 기술이 사용되는 곳에서 가압 공기는 안전한 장소로 방출되어야 한다. 환기량 또는 압력 차이의 손실에 반응 및 검출을 위한 적절한 경보/폐쇄 시스템을 설치해야 한다.
- (12) 희석 기류와 폭발 분위기 검출기의 수와 위치는 설비가 밀집된 복잡한 장소에 적절하여야 한다.
- (13) 수소와 더불어 메탄, LPG 등과 같은 다른 연료가 존재하는 장소에서 구비된 환기 설비의 적절성을 보장하기 위해서는 각 물질의 밀도 및 확산성을 고려하여야 한다.

6.2 점화원 관리

- (1) 가연성 혼합물은 점화원이 존재하지 않으면 폭발하지 않는다. 모든 점화원을 제거하는 것은 매우 어렵지만 점화원 제어는 전체적인 위험을 감소하는 데 중요한 요소이다. 이 접근방법은 잠재적인 폭발성 물질이 존재하는 모든 곳에 적용되어야 한다. 점화원을 제어하기 위해서는 아래와 같은 사항에 대한 고려가 필요하다.
 - (가) 위험 지역에 대한 위험성 평가
 - (나) 위험 지역의 크기와 특성 확인
 - (다) 위험 지역의 경계를 표시하는데 적합한 기호 사용
 - (라) 비 위험 지역에 전기장치 위치
 - (마) 위험 지역에 적절히 분류된 장치 사용
 - (바) 정전기를 방지하기 위해 본딩, 접지 및 방전복 사용

(사) 화기작업, 차량, 흡연 및 핸드폰의 사용 금지

(아) 적절한 장소에 피뢰설비 설치

(2) 연료전지의 프로젝트 기획 시 화재 및 폭발 사고 경험이 없는 장소에 화재 및 폭발 위험성 고려 또는 제시된 장소가 이미 위험지역 인지 고려해야 한다.

(3) 수소, 다른 인화성 가스 또는 액체가 존재하는 장소에서는 위험지역을 다음과 같이 구분하여야 한다.

(가) 0종장소 : 인화성 물질과 공기 혼합물로 구성되는 폭발 분위기가 계속해서 또는 오랜 기간 동안 존재하는 장소.

(나) 1종장소 : 인화성 물질과 공기 혼합물로 구성되는 폭발 분위기가 정상작동 중에 생성될 수 있는 장소.

(다) 2종장소 : 인화성 물질과 공기 혼합물로 구성되는 폭발 분위기가 정상작동 중에 생성될 가능성이 없으며 만약 폭발 분위기가 생성될 경우에는 그 빈도수가 극히 희박하고 아주 짧은 시간 지속되는 장소.

(4) 위험 지역으로 구분된 작업장 내 특정 장소에 위치한 전기장치는 적합한지 확인하여 구분하여야 한다. 위험 지역에서의 전기장치를 선정할 때 폭발 분위기가 존재할 가능성을 대비해 폭발 분위기를 고려하여 적절한 장치 그룹 및 온도 분류를 명시해야 한다.

(5) 모든 예측가능한 점화원을 적절히 제어하기 위해서는 위험 지역 구분으로부터의 결과를 사용해야 한다. 모든 예측가능한 점화원에는 화기작업, 흡연, 차량, 기계적 장치, 핸드폰 및 작업복이 포함되어야 한다.

(6) 연료전지의 설계 및 제작 시 다음의 사항을 고려해야 한다.

(가) 저장 장치의 각 구성품, 커넥터, 물질 등이 이들의 의도와 환경에 적합한지 확인한다.

(나) 예측 가능한 수소 누출원 아래에 연료전지의 전기/전자 장치를 위치시킨다.

(다) 수소누출이 발생할 수 있는 지역으로부터 전기/전자 장치를 격리시키기 위해

가스에 대한 기밀성이 우수한 방벽을 사용한다.

(라) 잠재적 폭발 혼합물의 형성을 방지하기 위한 적절한 환기설비를 사용한다.

(마) 특정상황에 적합한 방폭장치 또는 폭발 릴리프를 사용한다.

(7) 수소는 정전기로 인해 폭발될 수 있으므로 정전기 방전의 발생을 방지하기 위하여 다음과 같은 적절한 방법을 고려해야 한다.

(가) 모든 배관은 도전성을 가질 것

(나) 모든 배관과 장치를 효과적으로 접지

(다) 적절한 접지/연결 상태를 점검하여 문서화

(라) 위험 지역에서 방전복과 방전화 착용

(마) 옥외 연료전지 또는 수소 저장 설비를 설계 시 낙뢰 위험에 대비하여 적절한 방호 장치(피뢰침 등) 구비

7. 일반적인 안전 고려사항

7.1 매뉴얼 취급

연료전지의 사용과 유지와 관련하여 매뉴얼 취급으로부터 야기될 수 있는 위험성을 철저히 평가해야 한다. 특히 연료전지의 위치 선정 및 저장 방식, 접근의 용이성, 구비된 장치는 설치로부터 발생 가능한 전체 위험에 커다란 영향을 가질 수 있다.

7.2 교육 및 훈련

연료전지 설치와 관련된 위험에 의해 영향을 받을 수 있는 사람들은 적절한 수준의 교육 및 훈련을 받아야 한다. 연료전지 설비의 운전과 유지관리는 문서화된 절차에 따라 시행되어야 한다.

7.3 비상사태 조치

- (1) 문서화된 절차는 예측 가능한 모든 비상사태를 포함하여야 한다. 비상사태 시 요구되는 대응에 대한 적절한 훈련이 제공되어야 한다. 연료전지 프로젝트를 기획하는 동안 수소설비가 곧 그 지역에 위치될 예정이라는 것을 소방서에 알리는 것이 필요하다.
- (2) 연료전지 설비의 설계 및 운전 측면에서 중요한 위험은 확인되어야 하며, 연료전지 설비로 인한 위험성을 허용할만한 수준으로 감소시키기 위해 적절한 방법이 제공되어야 하며, 또한 그 위험성을 합리적으로 실행 가능할 만큼 낮은 수준으로 감소시키는 것이 필요하다. 화재 및 폭발 발생 시 비상조치계획 등은 KOSHA GUIDE (비상조치 계획 수립 지침)을 참조하여 작성한다.