

초.중.고등교원 참고도서



가스안전교육 참고서

I. 가스의 정의 및 특성

1. 고압가스의 분류

가스란 기체상태의 물질을 말하며, 사용과 안전관리를 위하여 저장상태, 연소성 및 독성유무 등에 따라 분류한다.

가. 저장·취급 상태에 따른 분류

(1) 압축가스

수소(H_2), 산소(O_2), 질소(N_2), 메탄(CH_4)과 같은 가스는 비점(끓는점)이 낮기 때문에 상온에서 압축하여 액화하기 어려운 가스로 단지 상태변화 없이 압축·저장하는 가스를 말한다.

(2) 액화가스

프로판(C_3H_8), 염소(Cl_2), 암모니아(NH_3), 이산화탄소(CO_2), 산화에틸렌(C_2H_4O)등과 같은 가스는 비점(끓는점)이 다른 가스에 비해 높아 상온에서 압력을 가하면 쉽게 액화되는 가스로 용기 내에서는 액체 상태로 저장되어 있다.

(3) 용해가스

아세틸렌(C_2H_2)을 예로 들 수 있으며, 매우 특별한 경우로서 압축하면 분해 폭발하는 성질 때문에 단독으로 압축하지 못하고 용기에 다공(빈 공간이 많은)물질의 고체를 충전한 다음, 아세톤과 같은 용제(녹이는 성분)를 주입하여 이것에 아세틸렌을 고압상태로 용해시킨 가스이다.

나. 연소성에 따른 분류

가스는 연소성에 따라 가연성가스, 조연성가스, 불연성가스로 분류할 수 있다.

(1) 가연성가스

프로판(C_3H_8), 부탄(C_4H_{10}), 일산화탄소(CO), 수소(H_2), 아세틸렌(C_2H_2)과 같이 **공기(산소)와 혼합하면 빛과 열을 내면서 연소**하는 가스를 말한다.

(2) 조연성가스

산소(O_2), 공기등과 같이 다른 **가연성물질과 혼합되었을 때 폭발이나 연소가 일어날 수 있도록 도움**을 주는 가스를 말한다.

(3) 불연성가스

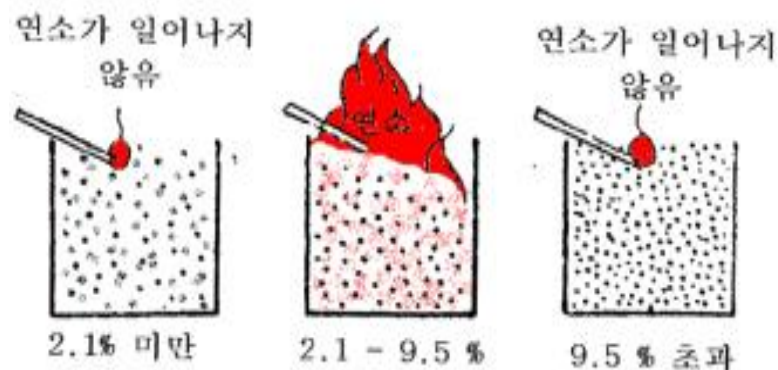
질소(N_2), 아르곤(Ar), 이산화탄소(CO_2) 등과 같이 스스로 연소하지 못하며, 다른 물질을 연소시키는 성질도 갖지 않는, **연소와 무관**한 가스이다.

다. 독성유무에 따른 분류

염소(293ppm), 아황산가스(2,520ppm), 일산화탄소(3,760ppm) 등과 같이 **공기 중에 일정량 이상 존재하면 인체에 유해**한 가스를 독성가스라고 말하며, 허용농도가 100만분의 5,000(5,000ppm) 이하인 가스를 말한다.

2. 폭발범위

가연성가스는 조연성가스와 적당히 혼합되어야만 연소나 폭발이 일어날 수 있다. 그 범위를 **연소범위, 폭발범위**라고 한다.



프로판의 폭발 범위(공기 중)

이 범위(한계)는 공기와 가연성가스의 혼합물 중의 가연성가스의 부피 (용량) %로 표시되며, 연소할 수 있는 최고농도를 **상한**, 최저농도를 **하한**이라 한다.

가스명	폭발범위(용량%)		가스명	폭발범위(용량%)	
	하한	상한		하한	상한
프 로 판	2.1	9.5	수소	4	75
부 탄	1.8	8.4	일산화탄소	12.5	74
메 탄	5	15	황화수소	4.3	45
아세틸렌	2.5	81	시아나화수소	6	41
암모니아	15	28	산화에틸렌	3	80

가연성 가스의 폭발 범위

프로판이나 부탄의 경우는 연소 하한이 낮아 가스가 조금만 누출되어도 연소나 폭발이 쉽게 일어날 수 있으며, 메탄의 경우 하한이 높아 프로판이나 부탄에 비해 많은 양의 가스가 누출되어야 연소나 폭발이 일어날 수 있다.

3. 비 중

비중이란 **무게를 비교**하는 것으로 물리적 성질을 나타낸다. 공기의 무게에 대한 같은 부피의 가스의 무게를 비교한 값을 가스비중이라 하며 기준이 되는 물질은 표준상태(0℃, 1atm)의 공기이다. 표준상태에서 공기 22.4ℓ의 평균 무게는 29g이고 가스비중의 숫자가 1보다 작으면 공기보다 가벼운 것을 의미한다.



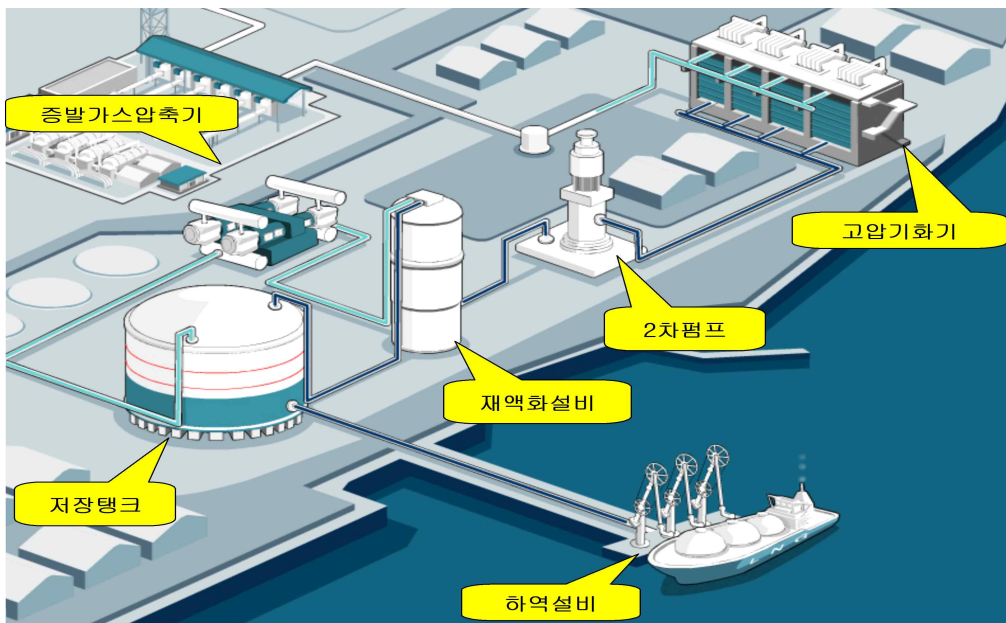
가스와 공기와의 관계(가스비중)

Ⅱ. 주요 고압가스

1. LNG(Liquified Natural Gas : 액화천연가스)

현재 천연가스는 도시를 중심으로 배관을 통해 공급되는 도시가스의 주성분으로 사용되고 있으며, 그 사용량은 점차적으로 확대되고 있는 실정이다. 천연가스는 **지하에서 발생하는 탄화수소(CH_4)를 주성분으로 한 가연성가스의 총칭**이다.

천연가스는 **메탄(CH_4)가스가 주성분**이다. 액화한 것을 LNG라 하며, 우리나라의 경우 천연가스전이 없기 때문에 소비되는 가스 전량을 대부분 **수입에 의존**하고 있다. 천연가스는 표준상태(0°C , 1기압)에서 약 1,400ℓ 이나, 액상에서는 약 2.4ℓ 로(-162°C , 1기압) 부피의 차이는 약 600배 정도 차이가 있다. 기체 상태에서 천연가스를 액화하면 부피가 약 1/600로 줄어든다.



LNG 인수기지

이와 같은 성질 때문에 천연가스를 수입해 올 경우 액화된 상태로 운반하며, 국내에 저장할 경우에도 LNG저장탱크에 액화된 상태로 저장하여 사용한다. 순수한 천연가스는 주성분이 메탄 외에도 황화수소, 이산화탄소, 또는 부탄, 펜탄, 습기, 먼지 등이 함유되어 있기 때문에 전처리 공정을 통해 유황, 습기, 먼지 등을 제거한다.

가. 성질

- (1) 무색의 투명한 액체
- (2) 비점 이하의 저온에서는 초저온용기에 저장
- (3) 기화한 가스는 무색·무취(도시가스 공급 시 가스가 누출되었을 때 냄새가 나도록 부취제를 첨가)
- (4) 약 -113°C 이하에서는 건조된 공기보다 무거우나, 그 이상의 온도에서는 가볍다.
- (5) 천연가스의 주성분인 메탄가스의 특성을 보면 다음과 같다.

메탄의 물리적 성질

구 분	성 질
분 자 량	16
비 중	0.55 (공기=1)
비 점	-162°C
폭 발 범 위	5~15% (공기중)

나. 용 도

천연가스는 연소 시 발생하는 황화합물 및 질소화합물, 그을음 등의 발생량이 적으며, 안정된 연소상태를 얻을 수 있다. 주로 쓰이는 곳은 도시가스 연료 및 발전용 연료 외에 일반 공업용으로 널리 사용된다.

LNG의 주요용도

구 분	주 요 용 도
연료	도시가스, 발전용, 공업용
냉열이용	액화산소, 액화질소의 제조 냉동창고, 냉동식품 저온분쇄 (자동차 폐타이어, 대형폐기물, 플라스틱 등) 해수 담수화 냉각(발전소 온·배수의 냉각)
화학공업 원료	메탄올, 암모니아의 제조

다. 폭발성 및 인화성

액화천연가스로부터 기화된 가스는 공기 또는 산소와 혼합되면 폭발성 분위기가 형성되므로 취급에 주의가 필요하며, 주성분인 메탄은 다른 지방족 탄화수소에 비해서 연소속도가 느리며, 최소발화 에너지, 발화점 및 폭발하한계 농도가 높다. 그러나 인화폭발의 위험성이 높으므로 누출 및 유출이 안 되도록 각별한 주의를 기울여야 한다.

액화천연가스는 온도가 매우 낮기 때문에 공기 중으로 누출될 경우 빠르게 기화되며 주변의 온도를 급격하게 떨어뜨린다. 따라서 공기 중의 수분과 접하면 수분의 응축현상이 일어나 안개가 발생하므로 이것에 의해 액화천연가스의 누출을 눈으로 쉽게 확인할 수 있다.

라. 인체 및 환경에 미치는 영향

천연가스는 그 자체로는 독성이 없으나 질식성이 있으므로 고농도로 존재할 경우에는 공기 중의 산소농도 저하에 의한 질식 현상(산소결핍증)에 주의해야한다.

현재 우리나라에서도 대기 오염 등의 공해가 큰 사회문제로 되고 있다. 대기 오염이 발생하는 가장 큰 원인의 하나로, 석유가 연소할 때 생기는 유황산화물질이나 질소산화물을 들 수 있다. 우리나라에서는 전체 에너지의 절반 이상을 석유로 사용하고 있으므로 대기오염이 발생하기 쉬운 환경에 놓여있다. 그러나 천연가스의 경우 연소할 때 나오는 유해물질이 적어 공해방지를 위한 친환경 연료로 각광받고 있다.

2. LPG (Liquified Petroleum Gas : 액화석유가스)

가. 성질

(1) 무색·무취

액화석유가스의 주성분인 프로판과 부탄은 원래 무색·무취이나 가

스 누출 시 쉽게 알 수 있도록 일반 가정용 연료와 자동차용에는 부취제를 첨가하고 있다.

(2) 기화 및 액화가 쉬움

프로판은 약 0.7MPa, 부탄은 약 0.2MPa 정도로 가압 시 액화된다. 액화된 프로판은 대기 중으로 방출시키면 기화되나, 부탄의 경우에는 겨울철 영하의 온도에서는 기화되기가 어렵고, 기화되어도 다시 액화될 가능성이 있다.

(3) 공기보다 무겁고 물보다 가벼움

프로판은 가스 상태일 때 공기보다 약 1.5배, 부탄은 약 2배 정도 무겁고, 액체일 경우 물보다 프로판은 약 0.51배, 부탄은 약 0.58배 가볍다. 따라서 사용 중 누출되면 낮은 곳에 체류해 점화원에 의한 화재 및 폭발위험성이 있으므로 누출 시 충분히 환기를 해야 한다.

(4) 액화하면 부피가 작아짐

프로판과 부탄은 액화되면 체적이 약 1/250정도로 줄어들게 되므로 저장, 수송 시에 유리하다.

(5) 연소 시 다량의 공기가 필요

완전연소에 필요한 공기량은 프로판의 경우 가스량의 약 24배, 부탄의 경우는 약 31배 정도이다. 연소 시 공기가 부족하면 불완전연소로 인해 일산화탄소가 발생하여 인체에 해롭다.

(6) 발열량 및 청정성이 우수

LPG는 연소 시 높은 발열량을 갖는다.(프로판의 경우 24,000 kcal/Nm³, 부탄의 경우는 30,000kcal/Nm³) 또한, 연소생성물은 석유류, 석탄 등의 배기가스에 비해 황화합물이나 이산화화합물 등의 공해요소가 적어 그을음 발생이 적은 청정연료이다.

(7) 고무, 페인트 등의 유지류, 천연고무를 녹이는 용해성

나. 용도

- (1) 프로판은 가정용, 공업용 연료로 주로 많이 쓰임
- (2) 부탄은 폴리카보네이트 등 강도가 높은 플라스틱 용기에 넣어서 라이터 연료와 자동차 연료로 사용
- (3) 화학공업용으로서도 중요하며, 합성고무의 원료인 부타디엔은 노르말 부탄의 탈수소반응으로 제조

다. 폭발성

액화석유가스는 공기나 산소와 혼합하여 폭발성 혼합가스가 되며, 인화점이 낮아 소량 누출 시에도 화재 및 폭발의 위험성이 크므로 취급에 주의하여야 한다.

라. 인화성

액화석유가스는 전기절연성이 높고, 정전기를 발생시키는 성질이 있어 정전기가 축적될 수 있는 조건에서는 스파크에 의한 인화·폭발의 위험이 있으므로 사용에 주의하여야 한다.

마. 액화석유가스의 누출 시 주의사항

- (1) LPG가 누출되면 공기보다 무거워 낮은 곳에 체류
- (2) 누출 장소의 화기 등은 신속히 제거 후, 밸브를 잠그고 창문과 문을 열어 방석이나 빗자루 등을 이용해 환기 (스파크 발생 우려가 있는 선풍기 등의 전기기구 사용 금지)
- (3) 용기의 안전밸브에서 가스가 누출될 때에는 안전한 장소로 이동 후, 용기에 물을 뿌려 냉각시킨다.
- (4) 용기밸브에서 진동·충격에 의한 가스누출 시에는 부근의 화기를 멀리하고 즉시 밸브를 잠글 것
- (5) 용기밸브의 파손 시에는 즉시 부근의 화기를 제거하고, 감시자를 배치하여 용기내의 가스가 모두 방출될 때까지 감시할 것
- (6) 배관에서 누출 시 즉시 전단의 밸브를 잠근 다음 주변의 화기를 멀리하고 환기를 시킨 후 누출부에 대한 수리를 할 것.

3. 수 소(Hydrogen : H₂)

선진국 및 유럽을 중심으로 저탄소 녹색성장을 전략적으로 추진하고 있으며, 녹색 기술에 대한 개발 및 보급에 힘쓰고 있다.

수소에너지는 화석에너지 체제의 한계를 극복하고 지구 온난화 문제를 해결하기 위한 대체 에너지원인 태양광, 풍력, 수력, 지열, 조력 보다 에너지 밀도가 높은 에너지 원료다. 특히 수소는 전기에너지를 이용하여 물로부터 얻을 수 있으며, 연소할 시 다시 물로 되돌아가는 차세대 미래 청정 연료의 특성이 있어 주요 공업의 원료로 각광받고 있다.

수소에너지 관련 산업의 분류는 크게 수소원료로부터의 생산, 저장 및 이송, 사용으로 분류할 수 있다.

가. 수소에너지 산업

(1) 생산

수소는 CH_x 계열의 탄화수소에서 주로 생산되며, 석탄 및 경유는 부분 산화법으로 나프타, 천연가스는 수증기 추출법으로 수소를 생산한다.

천연가스를 이용하여 수소를 생산하는 경우, 용도에 따라 수증기 추출(Steam reforming), CO₂ 추출, 부분산화(Partial oxidation), 자열추출(Autothermal reforming) 등이 이용될 수 있으며, 이들 중 수증기 추출기술이 주로 이용되고 있다.

수증기 추출 기술은 대형 암모니아 제조공정 및 석유정제용 수소 제조공정에 적용되어 이미 공정기술의 신뢰성이 입증되어 있으며, 기존 촉매의 성능, 안정성, 소형화, 단순화를 위한 공정개선 노력이 이루어지고 있다.

생산방식 중 석유, 화학공정에서 발생하는 부생수소방식이 가장 저렴하며, 수소를 추출하는 방식 중 CO₂ 분리 및 처리 및 저장을 고려하

지 않는다면 천연가스를 이용한 수증기 추출공정이 가장 경제적인 대량 수소제조법이라고 볼 수 있다. 국내의 경우 부생수소의 생산량이 풍부하여 가격이 낮고, 타 국가 대비 상대적으로 수소이송 거리가 짧아 이송비용이 낮다.

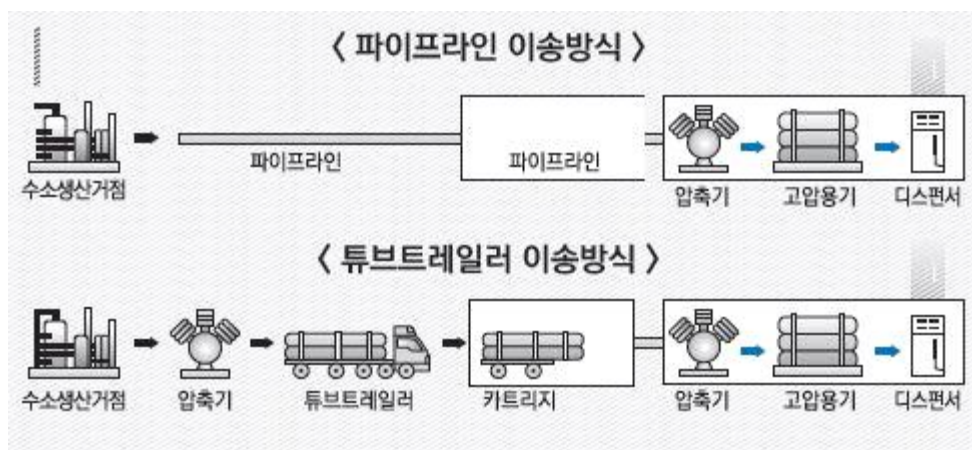
(2) 저장

수소는 기체, 액체, 고체의 형태로 저장할 수 있다.

먼저 기체의 형태로 저장하는 것은 고압 저장탱크에 압축 기체 형태로 저장하는 것으로, 현재 가장 보편화된 기술이다. 주로 35MPa~70MPa의 고압으로 압축하여 저장하기 때문에 그 과정에서 에너지 소비가 크고 기체의 형태이기 때문에 체적 당 에너지 저장 밀도가 낮은 단점이 있다.

(3) 이송

국내 수소시장의 이송체계는 대규모 수요처에 공급하는 수소배관 이송 방식과 중·소규모 수요처를 대상으로 한 실린더(용기) 또는 튜브트레일러(카트리지) 이송 방식으로 나눌 수 있다.



수소배관 이송 방식은 주로 소비지가 수소 생산시설과 인접하고, 파이프라인 연결비용이 사용량 대비 효율성이 높을 경우에 사용되는 방

법으로 100m당 약 1억원의 배관 건설비용이 소요된다.

실린더 및 튜브트레일러(카트리지)를 통한 이송방식은 소량의 수소 (0.5~50kg) 응축기체를 강재로 만들어진 실린더(용기) 또는 카트리지에 담아 중·소규모 단위로 공급하기 때문에 이송이 용이한 장점이 있다. 현재는 부생수소 사용방식 중 튜브트레일러에 의한 이송방식이 더 저렴하다.

〈 이송방식 별 경제성 비교 〉

구 분	이송 방식	경 제 성				
		시설비	운송비	부대비용	가격변동성	안전성
부생수소	파이프라인	상	하	하	불안정	중
	튜브트레일러	하	상	하	불안정	하

(4) 사용

정부는 미세먼지관리 종합대책의 일환으로 2022년까지 수소자동차 누적 15,000대와 수소충전소 310개소를 구축하는 보급 계획을 수립하였다. 향후 2025년까지 고속도로휴게소에 복합충전소 200개소를 건설하는 것을 목표로 하고 있으며, 최근에는 드론, 지게차, 경비행기, 오토바이크, 해양선박 등 다양한 목적(건설기계, 레저 등)에 수소를 주 에너지로 사용할 수 있도록 제품 및 기술개발 상용화가 추진되고 있다.



수소자동차

우리나라는 1998년 국가 G7사업 및 차세대 자동차 개발 사업으로 수소자동차 개발을 시작하여 현대자동차와 한국과학기술연구원이 1999년과 2001년에 각각 10kW급과 25kW급 스택을 개발하여 스포티지 및 쏘타페 연료전지 하이브리드차를 개발 및 시연하였다.

현대자동차는 국내 연구소와의 기술개발을 통한 독자 기술력을 확보함과 동시에 미국 IFC사(현 UTCFC)와 공동개발을 수행하였다. 그 결과 2000년 11월 75kW급 스택을 장착한 쏘타페 수소자동차를, 2004년과 2005년에 각각 투싼 수소자동차와 스포티지 수소자동차를 개발하였다.

2013년 2월에 현대자동차는 수소자동차 전용공장을 완공하고 투싼ix 수소자동차 양산체제에 돌입(1,000대/연간)하였다. 투싼ix는 독자 개발한 100kW 연료전지, 100kW 구동모터, 24kW 고전압 배터리, 700기압 수소저장탱크를 탑재하여 1회 충전 시 최대 594km 주행성을 확보하였다. 이어서 2018년 출시된 넥쏘는 609km의 향상된 주행성을 확보하였다.

나. 기체 및 액체 수소의 일반적 특징

기체수소는 무색, 무취, 무미, 무독성 가스이며 모든 가스 중에서 가장 가볍고 공기 밀도의 약 $\frac{1}{15}$ 로 주변 환경에서 가볍게 떠다닌다. 또한 생명 유지에 필요한 수준 이하로 산소 농도를 희석하여 질식을 유발할 수 있다.

액체수소는 무색, 무취, 비 부식성이고 반응성이 높지 않으며 액화가스 중에서 밀도가 가장 낮다. 1 기압에서 액체수소의 끓는점은 헬륨을 제외한 다른 모든 가스의 어는점보다 낮다. 이러한 낮은 온도 때문에 직접 노출될 경우 인체 조직에 심각한 동상 위험을 초래한다. 주변 열에 노출될 경우 액체수소는 부피가 팽창하고 기화되며 정상 온도와 압력에서 원래 액체 부피에 대한 총 팽창이 845배 더 커질 때까지 기체로 팽창한다.

공기 환경에서 수소는 다양한 혼합물에 대해 인화성이 있다. 수소와 산화제 혼합물은 고정된 지점에서 화재로 연소되거나 가연성 혼합물 전체에 걸쳐 폭연 또는 폭발의 형태로 나타날 수 있다. 수소는 일반적으로 수소 취성이라고 하는 복잡한 공정을 통해 일부 금속의 기계

적 특성을 감소시키게 되는데 사용하는 환경에 따라 적절한 주의가 필요하다.

- (1) 무색·무취·무미의 기체로 가연성 물질이나 독성은 없다.
- (2) 가장 밀도가 작고 가벼운 기체이다.
- (3) 액체수소는 온도가 극히 낮기 때문에 연성의 금속재료를 쉽게 취화시킨다.
- (4) 산소와 수소의 혼합가스를 연소시키면 2,000℃ 이상의 고온을 얻을 수 있다.
- (5) 고온·고압에서 강재 중의 탄소와 반응하여 메탄을 생성, 수소 취화현상을 일으킨다.

수소의 물리적 성질

구	분	성	질
원	자	량	1.008
분	자	량	2.016
비	점		-252.8℃
폭	발	범	위
			4~75(공기중)

다. 폭발성 및 인체에 미치는 영향

- (1) 염소, 불소와 반응하면 폭발이 일어난다.
- (2) 최소발화에너지가 매우 작아서 미세한 정전기나 스파크로도 큰 폭발이 일어날 수 있다.
- (3) 비독성으로 질식제로 작용될 수 있다.

라. 수소자동차 사고 발생 시 주의사항

- (1) 사고 발생 시 즉시 다른 차에 방해가 되지 않는 안전한 장소로 차 이동 후 시동을 꺼서 수소 누출 및 고압전류 누설 방지
- (2) 안전한 장소로 대피, 가까운 경찰서와 소방서에 수소전기차량임을 통보하고 경찰관의 지시를 따름
- (3) 화재 시엔 소화기 등으로 진화하고 진화 등의 응급조치를 하지 못하는 상황에는 사람들의 접근을 막고 자동차 화재가 완전히 진압되기 전까지 자동차로부터 충분한 거리유지

- 차량화재 또는 다른 이유에 의해 차량 뒤쪽 하단부에 위치한 안전밸브 근처의 온도가 110°C가 넘어가면 수소가스 방출을 위해 안전밸브가 열리며 큰소리가 발생
- 안전밸브 작동 시에는 배출되는 수소가스에 불이 붙을 수 있으며, 가까운 자사 직영 서비스센터에 연락

(4) 경미한 사고라도 꼭 의사의 진단을 받음

4. 산소(Oxygen : O₂)

가. 성질

- (1) 상온에서 무색.무취의 기체, 물에 약간 녹음(비점 -183℃)
- (2) 지각(地殼)중 가장 다량(50%) 존재(공기 중 약 21% 함유)
- (3) 생물의 생명과 연료의 연소에 있어서 필수가스
- (4) 화학적으로 활발한 원소로서 대부분의 원소와 직접 화합하여 산화물을 만든다. 단, 희(稀)가스, 할로젠원소, 귀금속과는 반응하지 않는다.
- (5) 수소와 격렬히 반응하여 폭발하고 물을 생성(수소폭명기)
- (6) 탄소와 화합하면 이산화탄소와 일산화탄소를 생성
- (7) 그 자체로 폭발 위험은 없지만 강한 조연성가스로 주의 필요

<주의사항>

- ① 기름이나 그리스 같은 가연성물질은 발화시 산소 중에서 거의 폭발적으로 반응한다.
- ② 만일 유지류가 부착되어 있을 경우에는 사염화탄소 등의 용제로 세정하고 충분히 건조시킨 다음 사용하여야 한다.

나. 용도

- (1) 의료용으로 사용, 높은 고공비행이나 깊은 바다에 잠수 시 또는 우주 탐사 시 호흡용과 연료원
- (2) 산소제강이나 고로용 산소 등 철강업
- (3) 고압용기에 충전되어서 산소-아세틸렌염, 산소-프로판염, 산소-수소염 등으로서 용접이나 절단용
- (4) 인조보석 제조와 로켓트 추진의 산화제 등

5. 독성가스

구분	종류	CAS No.	분자식	폭발범위	LC50	TLV-TWA
1	아크릴로니트릴	107-13-1	C ₃ H ₃ N	3 ~ 17	666ppm	2ppm
2	아크릴알데히드	107-02-8	C ₃ H ₄ O	2.8 ~ 31	65ppm	0.1ppm
3	아황산가스	7446-09-5	SO ₂	-	2,520ppm	2ppm
4	암모니아	7664-41-7	NH ₃	15 ~ 28	7338ppm	25ppm
5	일산화탄소	630-08-0	CO	12.5 ~ 74.0	3,760ppm	25ppm
6	이황화탄소	75-15-0	CS ₂	1.3 ~ 50		10ppm
7	불소	7782-41-4	F ₂		185ppm	1ppm
8	염소	7782-50-5	Cl ₂		293ppm	0.5ppm
9	브롬화메탄	74-83-9	CH ₃ Br	10 ~ 16	850ppm	5ppm
10	염화메탄	74-87-3	CH ₃ Cl	8.1 ~ 17.4	5,133ppm	50ppm
11	염화프렌	126-99-8	C ₄ H ₅ Cl	4 ~ 20		10ppm
12	산화에틸렌	75-21-8	C ₂ H ₄ O	3 ~ 100	2,900ppm	1ppm
13	시아나화수소	74-90-8	HCN	5.6 ~ 40	144ppm	10ppm
14	황화수소	231-977-3	H ₂ S	4.0 ~ 44.0	712ppm	10ppm
15	모노메틸아민	74-89-5	CH ₅ N	4.9 ~ 20.7	7,110ppm	5ppm
16	디메틸아민	124-40-3	C ₂ H ₇ N	2.8 ~ 14.4	5,290ppm	5ppm
17	트리메틸아민	75-50-3	C ₃ H ₉ N	2.0 ~ 11.6	7,000ppm	5ppm
18	벤젠	71-43-2	C ₆ H ₆	1.4 ~ 7.5	13,700ppm	1ppm
19	포스겐	75-44-5	COCl ₂		5ppm	0.1ppm
20	요오드화수소	10034-85-2	HI		2,860ppm	0.1ppm
21	브롬화수소	10035-10-6	HBr		2,860ppm	3ppm
22	염화수소	7647-01-0	HCl		2,810ppm	2ppm
23	불화수소	7664-39-3	HF		1,307ppm	3ppm
24	저자가스	505-60-2	C ₄ H ₈ Cl ₂ S		4ppm	
25	알진	7784-42-1	AsH ₃	5.1 ~ 100	178ppm	0.05ppm
26	모노실란	7803-62-5	SiH ₄	1.37 ~ 100	19,000ppm	5ppm
27	디실란	1590-87-0	Si ₂ H ₆		-	
28	디보레인	19287-45-7	B ₂ H ₆	0.5 ~ 88	80ppm	0.1ppm
29	세렌화수소	7783-07-5	SeH ₂		51ppm	0.05ppm
30	포스핀	7803-51-2	PH ₃	1.8 ~ 100	20ppm	0.3ppm
31	모노게르만	7782-65-2	GeH ₄		620ppm	0.2ppm
32	일산화질소	10102-43-9	NO		115ppm	25ppm
33	육불화텅스텐	7783-82-6	WF ₆		218ppm	3ppm
34	삼염화붕소	10294-94-5	BCl ₃		2541ppm	5ppm
35	오불화비소	7784-36-3	AsF ₅		178ppm	0.01ppm
36	오불화인	7647-19-0	PF ₅		261ppm	2.5ppm
37	삼불화인	7783-55-3	PF ₃		436ppm	3ppm
38	사불화붕소	7637-07-02	BF ₃		864ppm	1ppm
39	사불화유황	7783-60-0	SF ₄		40ppm	0.1ppm
40	사불화규소	7783-61-1	SiF ₄		922ppm	2.5ppm

Ⅲ. 가스안전관리

1. 가스안전관리 필요성

현재 우리가 주로 사용하고 있는 연료가스는 도시가스와 액화석유가스(LPG)를 꼽을 수 있다. 이들 가스는 청정연료로서 우리생활을 편리하게 해주는 생활에너지로 사용되고 있지만, 부주의하게 취급하면 폭발, 화재 등 큰 사고로 이어져 귀중한 생명을 앗아 갈 수 있으며 엄청난 재산피해를 입게 된다. 그러므로 가스의 사용이 보편화되고, 증대됨에 따라 체계적인 가스안전관리의 필요성이 대두되고 있다.

2. 가스안전관리 의식제고

가스는 편리한 반면, 자칫 잘못 다루게 되면 사고의 위험이 크고, 사고가 발생하면 인명과 재산 손실이 많다는 것은 누구나 잘 알고 있지만 사고를 예방하는 방법을 잘 모르는 경우가 많다. 사고를 예방하기 위해서는 무엇보다도 가스안전에 대한 관심과 실천, 가스사고 분석을 통한 정확한 이해가 선행되어야 하며, 가스사용자의 안전의식 제고와 더불어 안전관리에 대한 지식과 요령을 습득하고 실천하는 것이 최우선 과제라 할 수 있다.

3. 가스사고의 형태

가. 가스화재

“화재”란 불로 인한 재앙으로 표현되며, 공익을 해치거나 경제적 손실이 있기 때문에 꼭 진화하여야 할 필요성이 있는 연소현상으로 정의된다. 여기서 연소는 불에 타는 가연성물질이 공기 중에 존재하고 있는 산소와 결합하여 산화물과 수증기를 생성하고, 빛과 열을 발생시키는 화학 반응을 말한다.

가연성가스의 사고형태는 화재 또는 폭발 형태로 나타나고 있는데 사고의 근본원인을 살펴보면, 가연성 가스가 누출되어 폭발범위에 있을 때 점화원이 있으면 대부분 개방된 장소에서는 화재가 밀폐된

장소에서는 폭발사고로 이어지게 된다. 그러므로 가스화재, 폭발사고를 방지하기 위한 가장 기본적인 방법은 우선적으로 가스누출을 예방하고 다음으로 점화원 제거가 필수적이다.

가스가 누출이 되었을 때는 즉시 주 밸브를 잠그고 환기를 실시함과 동시에 전기스위치 또는 환기팬 등 점화원이 될 수 있는 전기시설물과 기타 화기를 통제하여야 한다.

나. 폭발

가스폭발은 누출된 가연성가스가 점화원에 의해 연소반응이 급격히 진행되면서 빛과 열을 발하며, 폭발을 동반하는 연소현상을 말한다. 폭발사고는 가스사고 형태 중 가장 피해가 큰 사고라 할 수 있는데 가장 많이 발생하고 있으며, 가정집에서도 많이 일어나고 있어 범국민적인 가스안전의식이 요구된다.

폭발에 따른 파괴력은 밀폐의 정도에 따라 달라진다. 즉, 밀폐가 잘 되어 있을수록 폭발의 파괴력은 강하다. 그러므로 밀폐된 장소에서는 가스사용 전에 누출 확인 및 가스시설물 관리에 세심한 주의가 요구된다.

가연성가스는 가스의 종류 또는 공기와 혼합된 정도에 따라 연소되는 속도가 다르다. 수소나 아세틸렌가스는 LPG에 비해 연소속도가 빠르다. 폭발현상 중 연소속도가 소리의 속도(음속: 340m/s)보다 빠른 경우를 폭굉현상이라고 말하며, 폭발로 인한 피해가 한층 더 크게 된다.

다. 일산화탄소 중독사고

(1) 사고형태

가연성물질이 불완전연소 하였을 때 CO(일산화탄소)가 발생하게 된다. CO가 함유된 폐가스가 사람이 거주하는 곳으로 유입되면 CO는 인체의 혈액 중에 있는 헤모글로빈과 급격히 반응하여 O₂(산소)의 순환을 방해하므로 중독되어 생명을 잃을 수도 있다.

요즘은 난방을 보일러에 의존하고 있는데 사고발생 건당 사망률이 일

반 가스 사고에 비하여 약 10배에 달해 가스사용자는 보일러 사용 시 안전관리에 특히 주의를 기울여야 한다.

급·배기통 이탈



공기중의 CO(%)와 중독상태

공기중(%)	호흡시간 및 증상
0.02	2~3시간 내에 가벼운 두통이 일어난다
0.04	1~2시간에 앞(前)두통, 2.5~3.5시간에 후두통
0.08	45분에 두통, 메스꺼움, 구토, 2시간내 실신
0.16	20분에 두통, 메스꺼움, 구토기분, 2시간에서 사망
0.32	5~10분에 두통, 메스꺼움, 30분에서 사망
0.64	1~2분에 두통, 메스꺼움, 10분~15분에서 사망
1.28	1~3분에 사망한다

(2) 일산화탄소 중독 예방법

일산화탄소 중독예방을 위해서는 우선 연소 시에 폐가스 중 CO 발생이 적게 되도록 해야 한다. 그러기 위해서 연소기는 환기가 잘 되는 장소에 설치하며, 연소에 필요한 충분한 공기를 공급해 주고 배기가스가 외부로 잘 배출되도록 하여야 한다.

또한, 반밀폐식 보일러를 실내에 설치하는 경우에는 반드시 전용 보일러실에 설치해야 하며, 밀폐식 보일러라 할지라도 거실이나 화장실에 설치하는 경우 실내 설치용 보일러 사용 및 배기통이 빠지지 않는 구조로 해야 하며, 배기통 연결부는 내열실리콘으로 시공하여야 한다.

배기통 연결부가 잘못 되어 기밀이 유지되지 않는 경우 사고가 발생하므로 보일러 설치기준에 따라 적합하게 시공하여야 하며, 아래의 배기통 점검사항을 숙지할 필요가 있다.

<배기통 점검사항>

- 배기통 연결부의 연결(기밀) 불량
- 배기통의 재질(STS 인증품) 적정여부
- 배기통의 변형(찌그러짐) 등에 의한 막힘
- 배기통의 굴곡(처짐) 등에 의한 응축수 고임으로 배기통 막힘
- 배기통내 쥐집, 새집 등으로 막힘(구경 16mm이하의 방조망 확인)
- 응축수에 의한 열교환기 부식
- 배기통 기울기(일반형식:하향, 콘덴싱보일러:상향)
- 배기통 주변 방해물질 유무 및 원활한 배기가스 배출 여부

새로 설치한 보일러, 수리한 보일러, 장기간 방치하던 보일러를 가동하기 전에는 가스누출뿐 아니라 배기가스 배출에 이상이 없는지 철저한 점검을 하여야 한다. CO중독사고는 평상시에는 이상이 없다가도 바람이나 저기압, 추위 등 날씨변화에 의하여 사고가 발생할 수 있으므로 사용 전 필히 확인해 보는 습관이 필요하다.

(3) CO중독 시 응급조치

일반적으로 CO중독 증상은 얼굴이나 피부가 붉은색을 띠는(홍조현상)으로 알 수 있으며, 일반적인 증상으로는 다음과 같다.

(가) 일산화탄소 중독증상

가스보일러를 가동 후 인체에 두통, 현기증, 구토증세 등 이상한 징후발생 시에는 반드시 제조회사 또는 가스공급자에게 통보

및 점검을 받고, 평상시에 배기통의 연결 상태 등을 꼭 점검해야 한다.

- 초기증상 : 두통, 현기증, 메스꺼움, 구토
- 중기증상 : 머리가 몽롱하고 판단이 둔해짐, 머리가 움직여지지 않고 손발의 근육이 둔해짐
- 후기증상 : 맥박이 빠르고 호흡이 곤란함, 얼굴색이 붉어짐

(나) 긴급조치

- 창문을 개방하고 환자를 신선한 장소로 옮긴다.
- 머리를 뒤로 젖히고 턱을 들어 올려 기도를 유지시킨다.
- 입안의 이물질을 제거한다.
- 호흡이 멈출 경우 인공호흡을 실시한다.
- 고압산소 치료가 가능한 병원으로 이송한다.

라. 산소결핍(질식)사고

(1) 사고형태

밀폐된 실내에서 일반적으로 공기 중에 CO_2 (이산화탄소)가 0.04% 함유되어 있으나 환기가 불량하고 폐가스가 실내로 유입될 경우 CO (일산화탄소)가 없더라도 CO_2 농도가 증가하여 O_2 (산소)농도가 정상상태(21%)보다 낮아지는 현상이 발생한다.

인체에 나타나는 산소결핍 현상은 CO 중독과 마찬가지로 체내에 O_2 가 부족해서 일어나는 증상으로 산소의 부족 정도에 따라 사망에 이를 수도 있으므로 주의가 필요하다.

CO_2 농도 증가에 따른 중독증상

공기중(%)	증 상
2.5	몇 시간 흡입해도 장애는 없다.
3.0	무의식 중에 호흡수가 빨라진다.
4.0	국부적인 자각증상이 온다.
6.0	호흡량이 증가한다.
8.0	호흡이 곤란해진다.
10.0	의식불명이 되어 결국은 사망한다.
20.0	수 초내에 심장이 마비상태가 되며 멈춘다.

산소농도 저하시의 인체에 대한 영향

농도(%)	인체에 미치는 영향	농도(%)	인체에 미치는 영향
21%이상	정상	14~9%	판단력이 둔해짐, 흥분상태, 불안정한 정신상태, 취한상태, 기억력이 없어짐.
18%미만	산소결핍 농도	8~7%	의식불명, 중추신경장애, 경련
16~12%	맥박·호흡수의 증가, 정신집중 노력필요 세밀한 근육작업이 안됨.	6%이하 지속	혼수→호흡이느려짐→호흡정지 →6~8분후 심장정지

(2) 질식사고 예방법

산소결핍에 의한 질식사고를 예방하기 위해서는 산소가 충분히 공급되어야 한다. 또한, 실내에서 연소기를 장시간 사용하는 경우 자주 환기를 실시해 주어야 하며, **지하 또는 밀폐된 실내(텐트내부 등)에서의 연소기 사용은 금지**하여야 한다.

연소기가 설치된 장소에 환기상태가 불량하면 연소에 필요한 산소부족으로 불완전연소가 진행되고 배기가스에는 CO농도가 증가하게 되는 것이다. 그러므로 가스소비량이 많은 보일러나 난로에는 산소농도가 일정농도(18%) 이하일 때 가스공급이 차단되는 산소결핍 안전장치를 설치하는 것이 바람직하다.

산소결핍이 우려되는 **지하실, पार्ट, 저장탱크 등 내부 작업 시에는 산소농도가 18%이상 유지되도록 조치하고 경보장치 등을 휴대하고 작업에 임하여야 산소결핍사고를 예방할 수 있다.**

마. 막음조치 미비로 인한 사고

(1) 막음조치

가스레인지 등 연소기를 철거한 후 가스배관이나 호스에 플러그나 캡 등으로 막아 가스가 누출 되지 않도록 하는 작업



(2) 작업수행

반드시 가스시공업체 등 전문가(자격증 소지자 해당)가 해야 함

(3) 사고유형

일반적으로 이사 시에 이사 가는 사람과 오는 사람 서로 인지를 못해 사고 발생 또는 가스시설 철거 혹은 가스레인지를 전기인덕션으로 교체 시 자주 발생(가스사고 중 높은 비중을 차지)

(4) 사고예방 방법

- 이사 3일 전부터 철거 및 막음조치 신청(시공업체 전문가)
- 이사 갈 때는 연소기 철거 후 막음조치 실시
- 이사 올 때는 가스 사용 전 막음조치 확인

바. 수소사고

(1) 국내사례

수소충전소 사고는 현재 상용화 초기단계로 없으며 고압가스사고 중 수소가스사고는 약 10% 대 수준이다. 수소가스사고를 발생 장소별로 분류하면 공장에서 가장 많이 발생하였고 다음이 제조(충전)사업소와 운반차량, 배관 순이다. 대부분의 수소가스사고의 원인은 취급부주의로

인한 사고가 가장 많았고 그 외에 시설미비, 애드벌룬, 제품노후화 등이 있다.

<수소가스사고 분석 자료>

사고 장소	제조(충전) 사업소	공장	배관	운반차량 (튜브트레일러 등)	기타 (애드벌룬 등)
100%	18%	37%	11%	18%	16%

사고 원인	취급 부주의	시설 미비	제품노후 (고장)	애드 벌룬	타공사	교통 사고	가스 누출	고의 사고	기 타
100%	37%	21%	6%	16%	3%	5%	3%	3%	6%

최근 서산, 울산, 여수 석유화학공장 등에서 시설미비·제품노후·사용자취급부주의 등으로 인해 수소가스사고가 발생하였다.

(2) 일본사례

일본은 2012년부터 수소충전소를 실증용으로 이용하기 시작하여 2014년 7월에는 상용화를 개시하였고, 수소사회실현을 위해 수소충전소 설치 확대 등 적극 노력하고 있다.

수소충전소에서 발생하는 사고 추이를 보면 충전소 수가 증가함에 따라 사고 건수도 증가한다는 것을 알 수 있으며, 특히 최근 집중적인 수소충전소 증가에 따라 사고건수도 지속적으로 증가하는 추세이다. 최근의 사고는 대부분 1차사고인 누출로만 종료되었으며 2차사고인 폭발, 화재, 파열·파손으로 이어지지 않았다.

(가) 설비 구분별

사고 내역을 설비구분으로 분류하면 디스펜서가 약 39%로 가장 많고, 다음이 충전호스, 압축기, 축압기, 안전밸브 순이다.

사고 원인 형태로 분류하면 체결관리불량 및 자연재해 등에 의한 사고가 가장 많았고 그 외에 부식(부식관리불량, 시공관리불량), 피로(설계불량, 검사관리불량)에 의한 사고, 오작동·조작기준 미비 등에 의한 사고 등이 발생하였다.

(나) 누출 부위별

누출부위는 체결부가 약 50% 정도로 가장 많으며 대부분이 나사접합식 이음매이다. 두 번째로 누출이 많은 곳은 개폐부로 전부 밸

브이며 다음이 충전호스, 그리고 플렉시블튜브·배관·안전밸브 등에서 누출사고가 발생했다.

4. 주요 가스사고 사례

● 대구 상인동 지하철 공사장 도시가스 폭발사고(대형 가스사고)

1. 사고일시 : 1995년 4월 28일(금) 07:52분경
2. 사고장소 : 대구시 달서구 상인동 730-72 영남고교앞 지하철공사장
3. 피해현황
 - 인명피해 : 사망 101명, 부상 201명
 - 재산피해 : 가옥 195채 파손, 차량 152대 파손
지하철 복강판 400m 붕괴
4. 시설현황
 - 도시가스배관 : PLP 100A 중압관(공급압력 : 0.3MPa)
5. 사고내용
 - 지하철공사장에서 30m 떨어진 대백프라자 상인점 건축공사 현장 뒤편의 소방도로에서 그라우팅 보링을 위한 천공작업중 도시가스 중압배관을 천공기로 관통시켜 가스가 분출되면서 누출된 가스의 일부가 파손된 우수관을 통하여 지하철 공사장으로 유입되어, 원 인미상의 점화원에 의해 폭발이 발생한 사고임



지하철 공사장 사고현장

● 부천 충전소 폭발사고(대형 가스사고)

1. 사고일시 : 1998년 9월 11일(금) 14:20분경
2. 사고장소 : 경기 부천시 ○○ LPG충전소
3. 피해현황
 - 인명피해 : 사망 1명, 부상 83명
 - 재산피해 : 약 95억 7천만원
4. 사고내용
 - 탱크로리 운전자가 임의로 부탄탱크로리(12톤)에서 지하매물형 부탄저장탱크(39.9톤)로 이충전작업을 하기 위하여 액체라인과 기체라인의 로리호스 커플링을 체결한 후 가스압축기 전원스위치를 작동시키자,
 - 체결된 충전호스의 커플링이 탱크로리내의 압력상승으로 액체충전 호스가 이탈, 파손되면서 원인미상의 점화원에 의해 착화되어 탱크로리 2대 및 충전소의 시설 등이 파손된 사고임

	
<p>폭발사고 현장 전경</p>	<p>부탄탱크로리 앞 경관 파열후 상태 (탱크로리부터 67.4m 비산되어 근린공원에 낙하됨)</p>

● 인천 미추홀구 다가구주택 도시가스 폭발사고(고의사고)

1. 사고일시 : 2018년 11월 28일(수) 00:58경
2. 사고장소 : 인천광역시 미추홀구 주안동 284-4 유한주택 304호
3. 피해현황
 - 인명피해 : 부상 2명(남, 23세, 304호 / 남, 21세, 203호 거주)
 - 재산피해 : 8,000만원(소방서 추산)
4. 사고내용
 - 사고세대호를 중심으로 화염 및 파손흔적이 있고 내부에 탄화물이 비산된 점으로 보아 폭발은 304호 내부발생으로 추정
 - 가스레인지에 연결된 가스호스는 날카로운 도구로 손상된 흔적과 가스누출이 확인되며, 가스호스 안층에 탄화흔적이 있는 점으로 미루어 사고발생 이전에 가스호스는 손상된 것으로 추정됨
 - 기밀시험 및 제품감정 결과 가스배관과 연소기(가스레인지, 가스보일러)에서 가스누출 등 특이점은 없음



2층 세대/현관문 외부에서 내부로 파손



가스호스 손상부 / 가스누출 확인



가스레인지 점화개폐콧 / 소화위치



천장, 싱크대 등 파손 / 화염흔적

● 서울 강동구 양갈비 음식점 화재사고(과열화재)

1. 사고일시 : 2018년 6월 5일(화) 14:55경
2. 사고장소 : 서울 강동구 상일동 285-3 1층(양갈비 음식점)
3. 피해현황
 - 인명피해 : 없음
 - 재산피해 : 250만원(소방서 추산)
4. 사고내용
 - 주방 높은렌지에서 조리중이던 식용유 등이 과열되면서 발화되어 화재가 발생하였고, 화재영향으로 접합용기(부탄캔)가 파열되면서 유리창 등을 파손시킨 것으로 추정됨

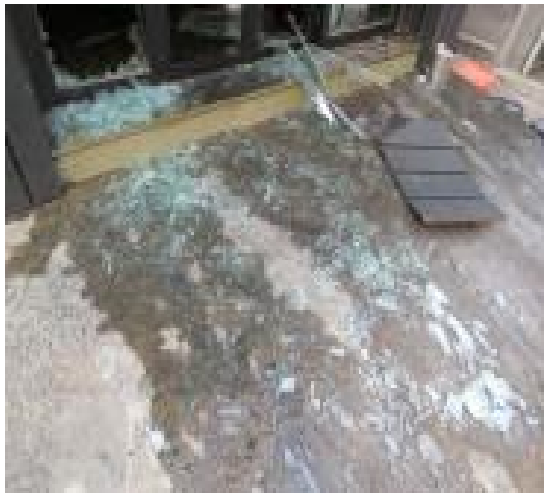


사진 4. 전면 유리창 파손



내부 화재로 연기 발생



주방 및 인접 홀 화재



주방내부 화재형태 / 가스연소기

● 인천 부평구 LPG충전소 가스누출사고(교통사고)

1. 사고일시 : 2018년 10월 11일(목) 16:06경
2. 사고장소 : 인천 부평구 청천동 67-30번지 LPG충전소
3. 피해현황
 - 인명피해 : 없음
 - 재산피해 : 약 8백만원(자체추산)
4. 사고내용
 - 사고장소 인접도로에서 차량들이 충돌 후 차량이 보호대와 함께 배관을 추돌 손상시켜 LPG가스가 누출된 2차에 걸친 교통사고임
 - 사고차량은 충전소 앞 도로에서 교통사고 후 진행방향이 충전소로 전환되어 보호대와 가스배관을 추돌하면서 배관손상으로 가스가 누출된 사고로 추정



CCTV/1차 차량충돌 후 충전소로 급선회

CCTV/ 충전소 기계실 2차 충돌



사고장소의 파손된 방호구조물 파손

배관라인 파손

● 강릉 수소저장탱크 폭발사고(수소가스사고)

1. 사고일시 : 2019년 5월 23일(목) 18:22경
2. 사고장소 : 강원 강릉시 과학단지로 강원테크노파크
3. 피해현황
 - 인명피해 : 사망 2명, 부상 6명
 - 재산피해 : 수소제조시설 및 주변 공장 3개동 파손
4. 사고내용
 - 수전해설비의 전원을 차단하고 연료전지를 가동하는 과정에서 수소탱크 내부에 유입되어 있던 산소와 원인미상의 점화에너지로 인해 탱크가 폭발함
 - 탱크 내부에서 폭발적 연소반응으로 일시에 과압이 형성되어 탱크에 설치된 안전밸브의 작동 전에 탱크가 파열되었고, 배관으로 연결되어 있는 3기의 탱크가 동시에 연쇄적으로 폭발하여 약 300m까지 파편이 비산되고 주변건물 내·외부가 파손되었음



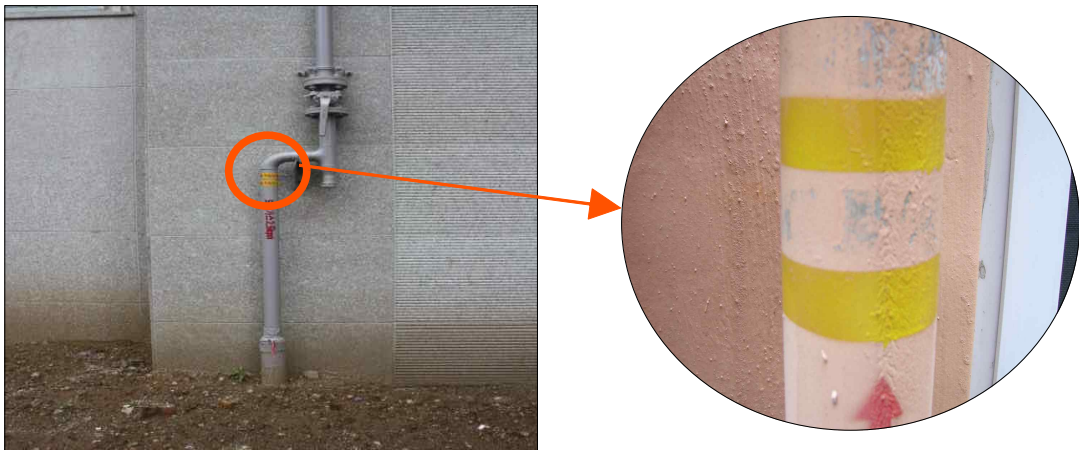
수소저장탱크 폭발로 파손된 건물

IV. 가스설비의 종류 및 특성

1. 배관

배관은 용기, 조정기, 가스계량기 등의 설비류를 연결하여, 가스를 연소기에 공급하는 중요한 역할을 하는 것으로 다음과 같은 법적 규정에 따른다.

- 가스명, 최고사용압력, 가스흐름방향 표시여부 확인
- 지상배관 : 황색
- 지하배관 : 저압(황색), 중압(적색)
 - * 지상배관으로서 바닥에서 1m높이에 폭 3cm의 황색 이중띠 표시한 경우 색상제한 없음



- 건축물 내의 배관에 노출하여 설치
 - * 스테인리스강관, 금속제의 보호관이나 보호판으로 보호조치를 한 동관·가스용 금속플렉시블호스를 이음매(용접이음매는 제외)없이 설치하는 경우 매설할 수 있다.

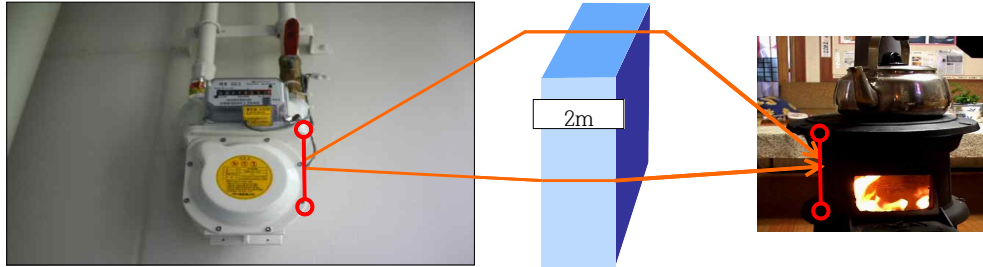
2. 가스계량기

가스계량기는 배관을 통하여 단위시간당 흐르는 가스사용량을 측정하는 기기로 설치하는 주요목적은 LPG의 경우 용기내의 잔가스량 예측이 가능하고, 가스사용 중에 갑자기 가스공급이 중단이 되는 일이 없으며 또한 중량판매 시에 발생하는 잔가스량에 의한 중량시비가 없어 짐으로 편리하고 안전한 기기이다.

가. 연소기의 가스소비량의 총합계보다 1.2배 용량 선정

나. 화기와 이격 및 환기상태

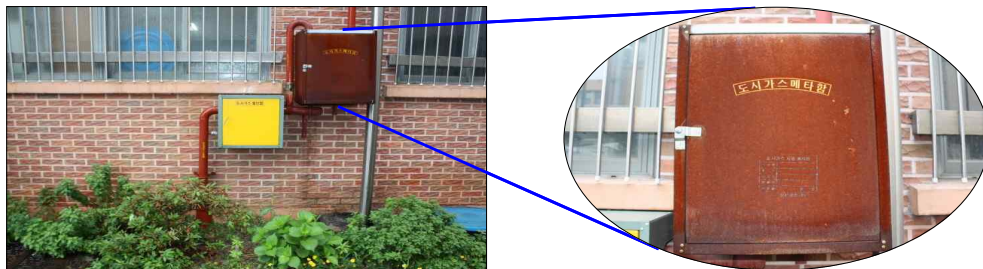
- 화기와 우회거리 2m 이상 이격 여부 확인



* 화기와 가스계량기의 우회거리 측정 시 가스계량기의 외면으로부터 화기의 외면까지의 거리가 2m 이상이어야 한다.

다. 설치장소

- 직사광선 및 빗물 받는 곳 격납상자 설치 여부



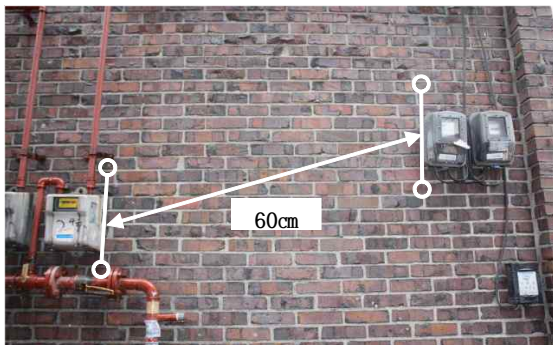
라. 계량기 설치높이

- 가스계량기($30\text{m}^3/\text{h}$ 미만)는 바닥에서 1.6m 이상 2m 이내 설치하고 고정 장치로 고정. (단, 격납상자 내 설치 시 높이제한 없음)

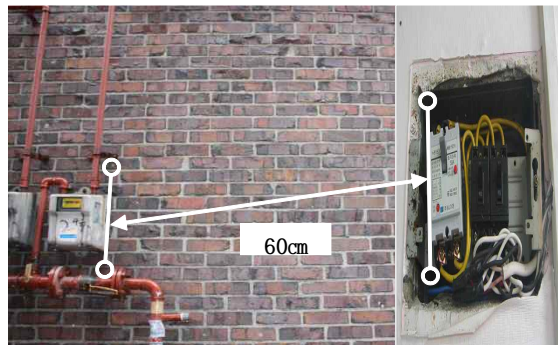
마. 전기설비와의 거리

- 가스계량기와 전기계량기 및 전기개폐기 60cm 이상, 단열조치 되지 않은 굴뚝, 전기점멸기 및 전기접속기와 30cm 이상, 비 절연 전선과 15cm 이상 이격 여부 확인

(1) 전기계량기와 60cm 이상 이격 여부



(2) 전기개폐기와 60cm 이상 이격 여부



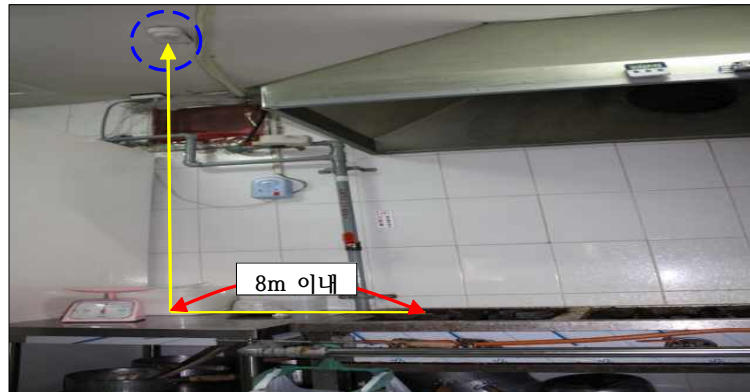
3. 가스누출자동차단장치

가. 설치대상 : 가정용을 제외한 가스사용시설 일부

- 가스누출자동차단장치 설치 여부 : 가스누출자동차단장치는 검지부, 차단부, 제어부로 구성되어 있으며 세 가지 모두 설치되어 있는지 확인하고 작동여부를 검사한다.

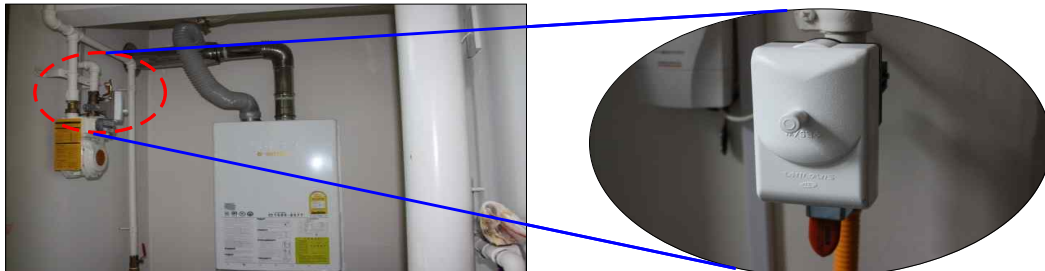
나. 검지부의 설치

- 연소기 버너의 중심부로부터 수평거리 4m 이내(공기보다 가벼운 가스는 8m 이내)에 1개 이상 설치

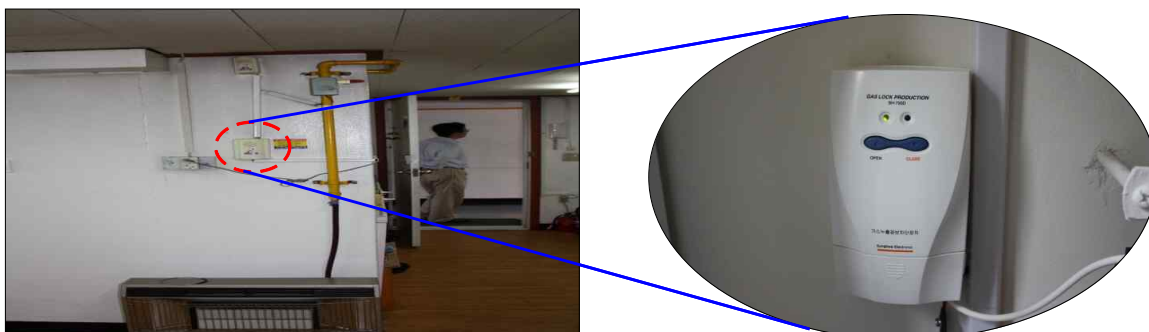


다. 차단부는 배관 설치상황에 따라 각각의 주배관에 설치

- 전체 가스사용시설, 층별, 동일 층내 사용자별 주배관



라. 제어부는 연소기 주위로 조작하기 쉽거나 안전관리자 상주 위치에 설치



4. 퓨즈콕

가. 퓨즈콕(Fuse Cock)

- 퓨즈콕은 과류차단안전기구가 부착된 것으로서 배관과 호스 또는 배관과 커넥터를 연결한다. 가스사용 중 호스가 빠지거나 절단 되었을 때 또는 화재 시 **규정량 이상 가스가 흐르면, 콕에 내장된 불이 떠올라 가스통로를 자동 차단**하여 안전관리 효과가 크다.



나. 콕의 사용 및 유지관리 시 주의사항

- (1) 콕은 전개, 전폐의 상태로 사용하고, 콕의 열림 정도로 화력을 조절하지 않도록 한다.
- (2) 연료가스용 호스를 퓨즈콕의 적색 표시선까지 완전히 밀어 넣은 후 호스밴드로 꼭 조인다.
- (3) 연소기를 사용한 후 말단콕을 잠그도록 한다.
- (4) 퓨즈가 작동(가스가 나오지 않음)하면 다시 손잡이를 닫음 → 열림으로 한다.
- (5) 콕의 손잡이나 핸들의 개폐조작이 원활하지 못 할 경우 윤활제가 부족하거나 이물질이 혼입된 경우가 많으므로, 무리하게 조작을 하게 되면 성능이 저하된다.
- (6) 콕은 분해 또는 구조변경하지 않는다.
- (7) 필요한 개소에 적절한 수의 콕을 부착하고 호스는“T”자형은 사용하지 말 것.(아래 사진은 잘못된 사례)



5. 용기의 종류

용기란 고압가스를 충전(저장)하기 위한 것으로 지표면에서 이동이 가능한 것을 말하며 보통 트럭 등에 적재하여 운반되는 소형 용기와 자동차 또는 철도차량에 고정설치 된 대형용기 등이 있다.

가. 이음매 없는 용기

이음매 없는 용기에는 산소, 수소, 질소, 알곤, 천연가스 등 압력이 높은 압축가스를 저장하거나, 상온에서 높은 증기압을 갖는 이산화탄소(CO_2) 등의 액화가스를 충전하는 경우에 사용



나. 용접용기

LP가스, 후레온, 암모니아 등 상온에서 비교적 낮은 증기압을 갖는 액화가스 및 용해아세틸렌 가스충전 시 사용되는 용기로, 프레스가공 경판(상·하판)과 원통형으로 성형된 동판을 용접제작



다. 납붙임 또는 접합용기

납붙임 또는 접합용기는 액화가스 충전용기로 내용물은 주로 살충제, 화장품, 의약품, 도료의 분사제 및 이동식 부탄연소기용 부탄가스 용기 등 다방면으로 사용되고 있다.



6. 소형저장탱크

소형저장탱크를 설치하여 LPG를 사용하는 경우 벨크로리 또는 탱크로리에 의하여 가스를 공급하는 방식으로 안전밸브, 과충전방지장치, 카플링, 액면계 등이 부착되어 있다.



7. 연소기

연소기는 가스를 연소시켜 발생하는 열을 이용하는 기기를 말하고 가정용, 업소용, 산업용 등의 용도로 사용되며 종류도 다양하다.



가. 황 염

불꽃 끝이 황적색이 되어 연소하는 현상으로 불꽃도 길어지고, 저온의 물체에 닿으면 더욱 황적색의 불꽃을 내는 불안전연소가 촉진되는데 이때 일산화탄소나 그을음이 발생하므로 주의해야 함

나. 리프팅

염공에서의 가스 유출속도가 연소속도보다 빠르게 되었을 때 가스가 염공에 붙어서 연소하지 않고 이탈하여 연소하는 현상

다. 역 화

가스 연소속도가 염공에서의 가스 유출속도보다 빠르게 되었을 때, 또는 연소속도는 일정하여도 가스의 유출속도가 느리게 되었을 때, 불꽃이 염공을 거쳐 혼합관속에서 연소하게 되는 현상

8. 수소 설비

가. 개념도



나. 저장설비

- 압축 수소가스를 저장, 운송하기 위한 저장용기는 4가지로 분류된다.

〈 형태별 압축수소 저장용기 〉

Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
금속으로만 이루어진 용기	금속의 용기에 실린더부분만 복합재료로 보강한 용기	금속의 라이너 전체를 복합재료로 보강한 용기	비금속 라이너를 사용하고 전체를 복합재료로 보강한 용기
			

다. 압축기

- 다이어프램식, 피스톤식, 아이오닉 압축기 등이 있다.

〈 압축기 특성 비교 〉

	다이어프램식	피스톤식	아이오닉
정비효율성	하	중	상
기동시 부하 조절 기능	하	중	상
효율	중	하	상
압축생산량 조정	하	중	상
압축가스 순도	중	중하	상
내구성	중	하	중
공간 활용도	하	중	중
부품의 호환성	중	하	상
유압장치	불필요	별도의 설치 필요	불필요
유지보수 비용	하	상	중

라. 압축가스 설비

- 압축된 가스를 저장하기 위한 압력용기를 말한다.



마. 충전설비

설비	사진	내용
디스펜서		수소자동차의 수소충전, 충전량 산출 및 이를 제어하는 역할
급속냉각장치		차량 내 고압용기가 저압에서 고압으로 변경될 때 급격히 온도 증가하는 것을 방지하기 위한 장치로 디스펜스 전단에 설치됨(-40℃ ~ -60℃ 수소를 냉각)
충전노즐		고압의 수소가스를 수소자동차에 충전하도록 연결하는 장치

바. 안전장치

안전장치	사진	내용
수소탱크 솔레노이드 밸브 (ITS, In-Tank Solenoid Valve)	 <div data-bbox="738 887 863 1016" style="position: absolute; top: 396px; left: 463px;">  압력센서 수소 감지기 </div>	평상 시 수소를 공급하고 긴급 시 수소를 차단
압력해제장치 (PRD, Pressure Relief Device)		수소탱크의 온도를 감지하여 화재 시에 수소를 주변 대기로 방출
과류방지밸브 (EFV, Excessive Flow Valve)		튜브가 고압으로 인해 손상될 경우, 과도한 수소흐름을 감지하고 공급을 차단
압력완화밸브 (PRV, Pressure Relief Valve)		압력 조절기에 설치되고 압력조절기 이상 시 수소를 주변 대기로 방출하여 압력을 완화

V. 가스시설 점검

1. 점검장비

- 가스누출검지기, 검지액(비눗물 등)

2. 일상점검 내용

가. 가스누출 점검

- 플랜지, 소켓, 중간밸브, 가스계량기 전·후단 등 배관이음부의 가스누출을 점검한다.

나. 가스연소기 점검

- (1) 연소기의 점화장치, 안전장치 등이 제대로 작동되는지 확인
- (2) 연소기 불꽃상태를 점검한다.
 - 불꽃이 황색을 띠면 공기가 부족하므로 환기상태를 좋게 하거나 연소기 공기조절댐퍼를 열도록 한다.
 - 불꽃이 염공으로부터 이탈하는 현상이 나타나면 염공의 이물질 제거하도록 한다.

다. 환기상태 점검

가스 사용 시에 환기가 충분히 될 수 있도록 창문 등의 개방 및 연소기 작동 시에 환기팬이 연동되는지 확인한다.

라. 안전장치 설치 및 작동상태를 점검

- (1) 가스누출경보차단장치의 검지부 설치위치, 가스 누출시 경보 및 차단부가 작동되는지 확인한다.
- (2) 연소기 전단배관에 적절한 용량의 퓨즈콕 설치여부를 확인한다.

3. LPG시설 점검

- (1) LPG용기는 물빠짐이 양호하며 바닥이 평평한 옥외에 보관한다.
- (2) LPG용기가 넘어질 위험성이 있는지 육안으로 확인(전도방지 체인 설치)
- (3) LPG용기와 조정기 연결부분 등에 가스누출 여부를 확인한다.
- (4) LPG용기 주위에 화기가 없는지 확인하고 화기(연탄불, 인화물질)를 제거한다.

4. 도시가스시설 점검

가. 배관 및 밸브 상태 확인

- (1) 배관 고정상태
- (2) 연소기 철거부분의 마감조치 여부
- (3) 배관의 도색상태
- (4) 배관 이음부와 전기설비와의 이격거리
- (5) 밸브박스의 침수 및 밸브부식 여부
- (6) 입상관 보호조치 여부
- (7) 밸브의 작동상태

나. 호스 상태 확인

- (1) 호스 3m 이내
- (2) 호스 “T”형 연결 여부
- (3) 연소기와의 결속상태
- (4) 호스는 갈라졌거나 열기에 의하여 타거나 그을린 곳이 없는지 확인.

다. 가스누출경보차단장치 확인

- (1) 작동상태
- (2) 수분 또는 이물질과의 접촉 여부

라. 연소기 상태 확인

연소기의 연소상태 및 노후·파손, 청결상태 확인

마. 보일러 배기통 등 점검

(1) 보일러에 연결된 배기통이 빠지거나 중간에 꺾여서 찌그러지지 않는지, 구멍 난 곳은 없는지, 배기통 안에 이물질이 없는지 확인

(2) 보일러 가동 중에는 많은 양의 공기가 필요하므로 환기를 위한 급기구와 배기구가 막히지 않았는지 확인

※ 찬바람이 들어온다고 비닐 등으로 급기구를 막으면 안 된다.

VI. 수소 자동차

수소 자동차 또는 수소 연료전지 자동차(FCEV; Fuel Cell Vehicle)는 기존 가솔린 내연기관 대신 수소와 공기 중의 산소 결합으로 전기를 자체 생산하는 연료전지를 동력원으로 하는 차세대 친환경 자동차로서 엔진이 없기 때문에 배기가스 및 오염물질을 배출하지 않는 무공해 자동차이다.

수소 자동차는 연료전지로부터 생성된 전기로 구동되는 전기 자동차의 일종으로 모터에서부터 바퀴에 이르는 구조는 기존의 전기 자동차와 같으나 전기 자동차와 달리 저장된 전기를 사용하는 것이 아니라 전기를 직접 만들어 모터를 돌려 차량을 달리게 하며, 동력원으로는 주로 물에서 얻을 수 있는 수소를 사용한다.

수소 자동차는 기존 자동차의 엔진에 해당하는 연료전지시스템과 전장장치, 수소저장장치로 구성되어 있으며 연료전지시스템에는 연료전지 스택과 수소, 공기, 물을 관리하는 운전장치로 구성된다.



<수소 자동차의 구조>

(1) 스택

수소와 산소가 만나서 전기를 발생시키는 장치로 다공질 탄소막을 접합시켜 기체의 확산 및 촉매층과 접촉을 용이하게 하는 투과막/전극접합체(MEA; Membrane/Electrod Assembly)와 연료와 공기의 통로가 되면서 외부회로로 전기를 흘리는 역할도 수행하는 분리막(Separator 또는 Bipolar plate)으로 구성된다.

(2) 운전장치

스택에서 수소와 공기를 공급, 제어하고 발생하는 물과 열을 제거하는 장치로 공기공급계(APS; Air Process System), 열 및 물 관리계(TMS; Thermal Management System), 수소공급계(FPS; Fuel Process System)로 구성된다.

(3) 전장장치

연료전지스택으로부터 출력된 DC를 AC로 변환하는 인버터와 제동시 발생하는 전기를 저장하기 위한 슈퍼 커패시터 및 이차전지 등으로 구성된다.

(4) 수소저장장치

고압수소를 저장하고 압력을 조절하는 장치로 수소탱크, 압력조절밸브, 탱크내장형 솔레노이드 밸브, 압력센서, 수소센서 등으로 구성된다.

가. 수소 자동차의 이점

(1) 높은 효율성

연료인 수소의 높은 효율성으로 이론상 85% 효율을 나타내며, 이는 기존 가솔린 엔진의 27%, 디젤 엔진의 35%보다 현저히 높다.

(2) 대형차 적용 가능

연료 무게가 상대적으로 가벼워 소형/중형차 중심인 전기자동차에 비해 대형 트럭에도 쉽게 적용이 가능하다.

(3) 무한정 원료

리튬 이온 배터리를 널리 사용하는 전기자동차의 경우 리튬 자원의 고갈 위험이 있으나, 수소의 원료가 되는 물은 쉽게 획득 가능한 자원이다.

(4) 환경오염 제로

가솔린 엔진과 달리 지구 온난화의 주범인 배기가스 대신 물을 방출하므로 매우 친환경적이다.

(5) 주행거리

주행거리는 수소 자동차의 대표적인 이점 중 하나로, 1회 충전 시 보통 200~300km를 전기 자동차와 비교했을 때, 수소 자동차의 경우는 400km 이상을 갈 수 있다.(주행 가능 거리는 도요타 미라이의 경우 480km, 현대 투싼 ix의 경우 415km 수준) 특히, 별도 에너지 없이 수소와 산소를 반응시켜 전기를 만들고, 전기 자동차와 비교해 높은 주행거리를 갖는다는 점은 주요 장점이다.

나. 수소 자동차의 개발 현황

도요타 미라이, 혼다 Clarity FCV 등 일본 완성차 업체가 현재 수소 자동차 산업의 주도권을 쥐고 있는 것으로 파악되고 있다. 미국 기업으로는 General Motors(GM), 독일 기업으로는 다임러가 적극적으로 수소 자동차 개발에 나서고 있으나, 대량 양산면에서 일본 기업에 크게 뒤쳐진 상태이다. 한국 기업으로는 현대·기아 자동차가 양산형 투싼 수소 자동차 버전을 개발했으나, 정부지원 및 인프라 면에서 일본에 뒤처지는 편이다.

(1) General Motors(GM)

업계 최초로 GM은 1964년 자동차 업계 최초로 수소 자동차를 개발하기 시작했으며, 2016년까지 총 48,000km의 수소 자동차 주행시험 기록을 보유하고 있다. 2016년 GM은 Chevrolet Colorado 픽업트럭 모델을 군용 수소 자동차로 개조, 12개월 동안 주행 시험을 진행하였다.

< GM 수소 자동차 개발 현황 >

모델명	2007 Equinox	2016 군용 개조 수소 자동차	차세대 수소 자동차
연료전지 용량	93kW	85~92kW	80~95kW
연료 전지 최대온도	86도	95도	105도(목표)
총 주행가능거리	48,000km	241,000km	241,000km
연료 전지 파워트레인 중량	240kg	120kg	105kg
운용 가능 최대 저온	영하 25도	영하 40도	영하 40도

[자료] Mark Lines

(2) 닛산

닛산과 협력하여 수소 자동차 관련 연구 개발을 1980년부터 개시하여, 2003년 2세대 수소 자동차를 개발했으며, 현재 일본의 3대 완성차 제조 업체인 닛산과 공동으로 수소 자동차를 개발 중이다.(2017년 출시) 파워트레인 소형화를 목표로 2016년 수소 자동차는 2세대보다 연료전지 파워트레인의 크기를 30% 수준 소형화하여 개발하였다.

(3) 도요타

수소 자동차 대량양산용 모델 미라이(Mirai)를 2014년 12월 출시하였고, 2016년까지 1,800대 판매되었고, 전 세계 판매량은 2020년경 연간 3만 대 수준을 돌파할 것으로 전망된다.



<도요타 미라이>

(4) 혼다자동차

혼다자동차는 2016년 3월부터 Clarity 모델의 수소 자동차 버전의 리스를 개시하였다. 기존 연료전지 파워트레인의 소형화를 통해 일반적인 6기통 엔진(V6) 크기까지 줄이는데 성공하여 탑승자를 위한 차 내부공간을 확보하게 되었다.

(5) 현대·기아자동차

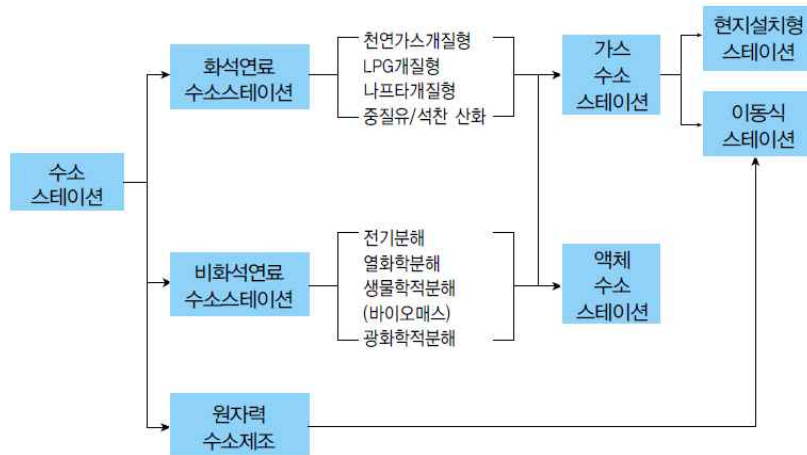
현대자동차는 1998년부터 수소 자동차 관련 연구를 개시, SUV 모델인 투싼의 수소 자동차 버전을 2013년 출시했으나 높은 가격과 낮은 인프라로 인해 전 세계 판매량은 2015년 기준 2년간 270여 대를 기록하였다. 현대자동차는 현재 2018년 출시를 목표로 투싼 ix FCV의 차세대 버전을 개발 중에 있으며, 수소연료 탱크와 연료전지 소형화를 추진 중이다.

다. 수소 충전소 기술 현황

(1)수소 충전소 분류

수소 제조방식에 따라 화석연료(천연가스, LPG, 나프타 등) 개질형, 물의 전기분해, 원자력 수소 제조 그리고 태양광 및 바이오매스 등의 신재생에너지원에서 수소를 제조하는 형태로 구분되며, 압축수소, 액체수소,

흡장수소 등으로 저장방식에 따라 구분된다.



<수소 제조방식에 따른 수소 충전소의 분류>

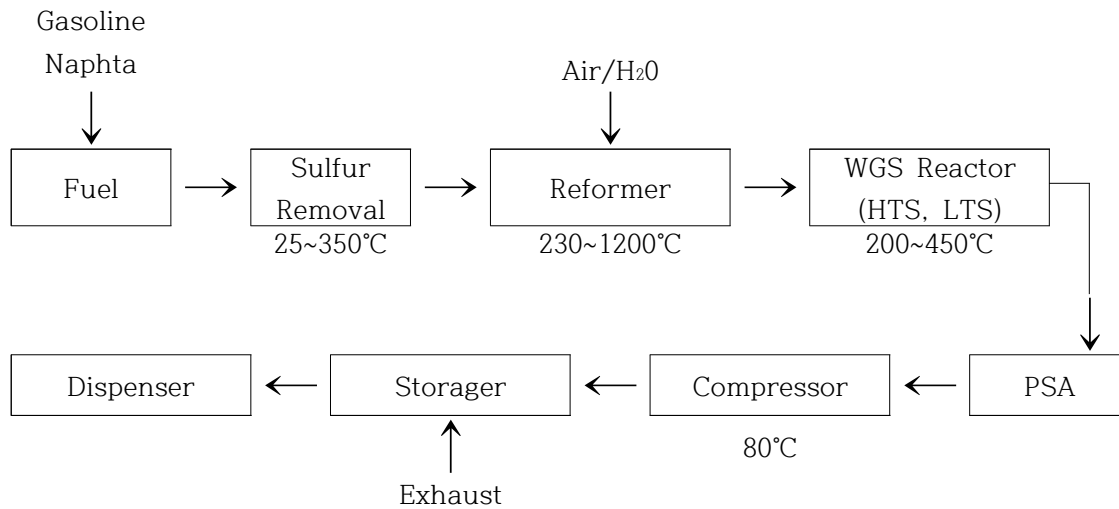
자료: 김기동, “수소스테이션 표준화 로드맵”, 2007.7, 한국가스공사

수소 제조설비를 포함하느냐의 여부에 따라서는 공장에서 수소를 제조하고 차량으로 운반한 후 자동차에 공급하거나(Off-site, 저장식) 현지에서 직접 수소를 제조한 후 차량에 수소를 공급하는 방식(On-site, 일체형)으로 구분된다.

일체형 수소 충전소(On-site)의 설비는 수소 제조, 가압, 저장 및 충전기 등으로 구성되며, 수소 제조방법은 물 전기분해, 화석연료개질, 바이오매스, 태양열, 풍력 및 지열과 같은 대체에너지를 이용한 물 분해 등이 적용되고 있다.

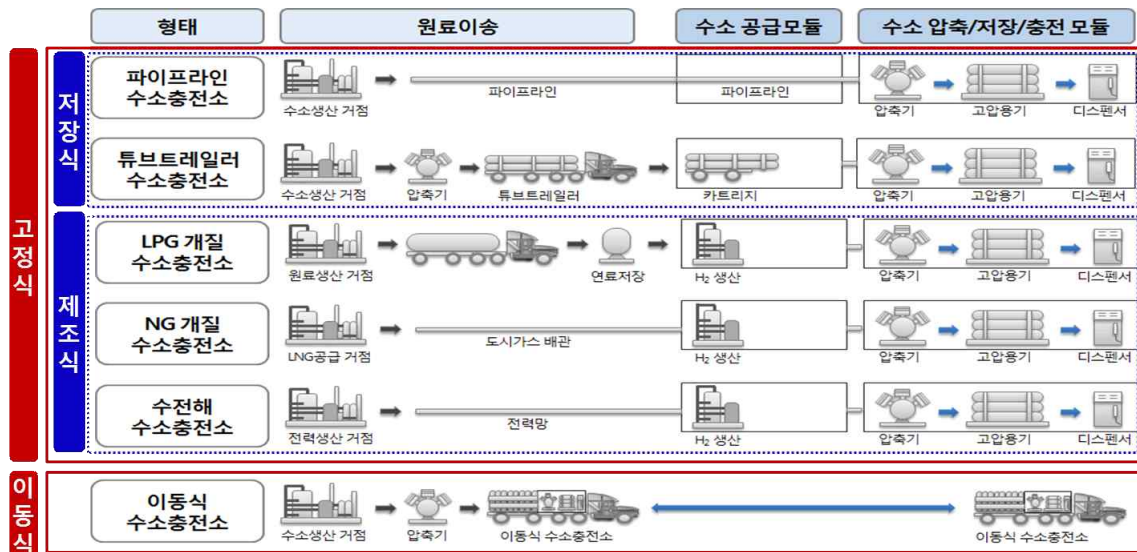
일체형 수소 충전소의 연료로는 국내 대부분의 도시에 배관망이 형성되어 있으므로 기존 연료 인프라를 활용하면서 추가 시설투자 없이 기존의 주유소를 활용할 수 있는 천연가스의 개질형 충전소가 가장 용이하다.

LPG, LNG



<수소스테이션의 구성>

Off-site형 수소 충전소의 경우 공장에서 수소를 제조하고 차량으로 운반한 후 자동차에 수소를 공급하므로 중앙공급(파이프라인)과 개별수송(철도, 도로 등)의 상대적 장단점을 검토하여 물류비용이 최소화되도록 구축되어야 한다.



<수소 충전소의 분류>

(2)국내외 수소 충전소 보급 현황

1) 국내 수소 충전소 보급 현황

우리나라는 울산, 여수, 대산 등의 대형 화학단지가 많아 부생수소가 풍부하게 생성되고 있어 수소를 전국적으로 이용할 수 있는 장점이 있다. 수소 충전소는 지난 2001년부터 지금까지 연구·실증, 보급사업, 민간 구축 등을 통해 총 19개소가 구축되었으며, 현재 운영 중인 곳은 10곳이다. 이 중 70MPa(약 700bar)의 압력으로 충전할 수 있는 곳은 광주(진곡), 충남(내포), 경기(마북·남양·화성), 울산(매암), 대구(서변) 등 7곳이다.

< 70MPa 충전 가능한 충전소 현황 >

	주목용	설치년도	위치	운영기관	공급방식	압력(bar)	충전량(kg/일)
환경부	운영 (2)	2014	광주 진곡	광주광역시	부생수소	700	220
		2015	충남 내포	충청남도	부생수소	700	430
	설치중 (3)	2016	광주	광주광역시	부생수소	700	220
		2016	울산	울산광역시	부생수소	700	460
		2016	창원	창원시	부생수소	700	150
산업부	운영 (8)	2005	경기 마북	현대자동차	부생수소	700	110
		2007	인천 송도	한국가스공사	NG개질	350	65
		2009	경기 남양	현대자동차	부생수소	700	430
		2009	경기 화성	KAIR(자동차안전연구원)	부생수소	700	20
		2010	서울 양재	현대자동차	부생수소	350	110
		2010	서울 상암	서울특별시	매립가스개질	350	65
		2012	울산 매암	현대자동차	부생수소	700	520
		2013	대구 서변	이엠코리아	수전해	700	110

현재 정부주도로 환경친화적 자동차의 개발 및 보급 활성화를 위한 계획 및 정책이 추진 중이다.

① 산업통상자원부

제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 계획(2015.12), 미세먼지 관리 특별대책(2016.6) 및 제10차 무역투자진흥회의(2016.7)에 따라 2020년까지 수소연료전지 1만대, 수소 충전소 100기 건설 목표를 수립하고 추진

중이다.

*수소, 수소 충전소, 수소 자동차 보급 활성화를 위한 민관협약체인 수소융합얼라이언스추진단 창립(2017.2.23)하여 친환경차 보급, 기술개발 및 규제완화, 대국민 홍보 등 추진 중

② 환경부

2013년부터 수소 자동차, 수소 충전소 보급 사업을 시작하여 2016년까지 121대의 수소 자동차를 보급하고, 충전소 6개소를 설립하였으며, 2017년 수소연료전지 310대(누적) 및 충전소 16곳을 확충할 계획(수소 자동차 구매 보조금 지급)이다.

③ 국토교통부

국토교통부에서는 수소 자동차에 대한 인센티브 확대 및 환경부와 함께 민간투자를 활용해 수소 자동차, 전기 자동차 충전소를 보유한 복합휴게소 조성 계획을 발표(2025년까지 200개소)(2016.6.3, 미세먼지관리특별대책) 하였다.

- 고속도로 통행료 한시적 할인(~2020)(2017.2.27, 제11차 무역투자진흥회의)
- 원활한 인센티브 제공을 위해 전용번호판 도입(2017.5.1부터 시행)
- 수소 화물차 고속도로 통행료 한시적 할인(~2020)(2017.2.3 여객차운수사업법 개정)

2) 국외 수소 충전소 보급 현황

① 일본

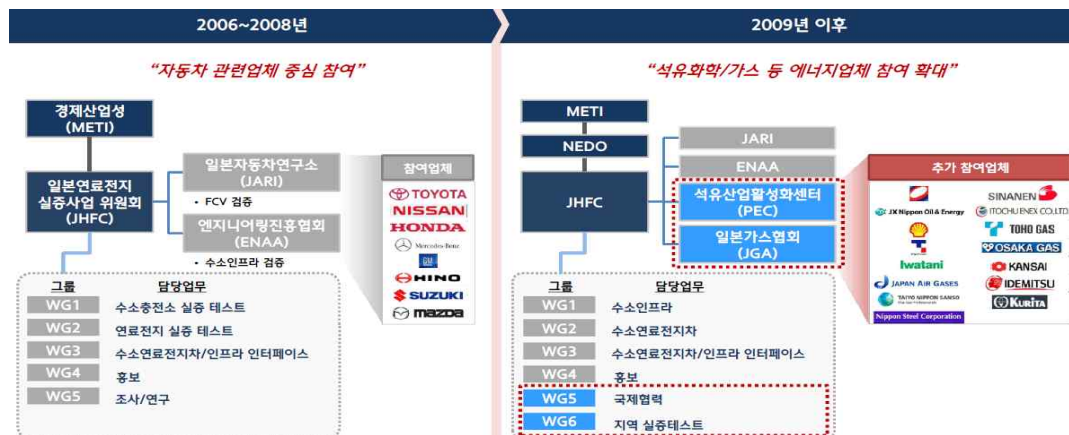
수소 자동차 상용화에 대비하여 수소 충전소 구축에 집중하고 있으며, 민간단체와 협력하여 기술개발과 실증사업*을 통한 규제 선진화를 추진 중이다.

* JHFC(Japanese Hydrogen & Fuel Cell) : 1단계(2002~2005), 2단계(2006~2010), 3단계(2011~현재)

경제산업성 산하의 독립기구인 NEDO를 중심으로 기업, 사업자단체, 지자체, 대학 등이 연계하여 도쿄, 오사카, 나고야, 후쿠오카 4개 대도시를 거점으로 수소 충전소 건설을 추진(2015년 45기 건설예정, 누적 100기) 중이다.

<한국과 일본의 수소산업 추진 목표>

	수소 자동차		2016년 보급 현황		2020년 목표(누적)	
	개발시기 및 차종	판매	수소 자동차	충전소	수소 자동차	충전소
한국	2013 현대 투싼	242대	126대	20기	10,000대	100기
일본	2014 도요타 미라이	2,800대	1,200대	90기	40,000대	160기
	2015 혼다 클라리티	118대				



<수소 자동차 및 충전소 인프라 추진 협력체계>

자료 : 한국자동차산업연구소

수소 충전소의 건설비는 1곳당 40~50억원 가량이고 연간 운영비도 약 4억원으로 높은 가격이기 때문에 일본 정부에서는 설비비용 감소를 위한 기술개발의 지원 및 셀프충전을 허가함으로써 비용을 인하하는 방안을 모색했다. 그 결과 일본 내 수소 충전소 보급이 활성화되어 2017년 현재 약 90개소의 수소 충전소가 운영 중에 있으며 2020년까지 320개소의 수소 충전소 구축을 목표로 하고 있다.

② 미국

2016년 11월 미국 연방도로청(FHWA; Federal Highway

Administrator)은 35개주를 아우르는 국가 대체 연료 충전 지역망의 기반이 될 55개의 도로를 발표했다. 각 주로 하여금 주요 도로간 CNG와 수소 충전 지역을 지정하도록 하였고 캘리포니아, 콜로라도, 코네티컷, 플로리다, 일리노이, 미주리, 뉴욕, 테네시, 텍사스 및 위스콘신에 수소 도로가 지정되었다.



<미국 CNG도로 현황>



<미국 수소도로 현황>

자료: www.fhwa.dot.gov

미국 내 수소인프라 구축에 가장 적극적인 캘리포니아 주는 2008년 민관공동단체와 *캘리포니아 파트너십(CaFCP)을 중심으로 **수소에너지 개발을 위한 대체 연료·자동차 기술 자금지원 프로그램(AB8, Assembly Bill 8)을 제정하여 수소 충전소 투자를 법으로 명문화 하는 등 인프라 구축에 적극적으로 나서고 있다. 이로써 캘리포니아 주는 세계 최대 수소 자동차 시장으로서의 성장 가능성에 대한 높은 평가를 받고 있다. 현재 캘리포니아 주에는 25개의 수소 충전소가 운영 중에 있고 AB8 법안을 통해 연간 2천만 달러를 수소 충전소 개발에 할당한다는 내용을 명시하는 등 수소 충전소 확충에 노력하고 있다.

* CaFCP, 2012년~2016년, 약 27억 달러 투자 → 2018년 누적 100기 구축 목표

** 수소 충전소 100기가 구축될 때까지 매년 최대 2천만\$ 투자를 규정 (2014)

③ 유럽

유럽연합(EU)은 유럽 내 연료전지와 수소에너지 기술의 도입을 가속화 한다는 목표를 수립하고 민관협력 단체인 FCH JU(Fuel Cells and

Hydrogen Joint Undertaking)을 설립하였다. 이 단체는 유럽이사회, 수소·연료전지 관련 업체 및 연구단체들로 구성되어있다. 2014년부터 2020년까지 13억 3,000만 유로(약 1조 7천억원)의 예산을 책정하여 연료전지 및 수소 플랫폼을 설립하기 위한 노력을 보강하고 산업계와 연구기관, 국가 공식기관들이 협력하여 수소 관련 기술과 사회·경제 및 환경 문제들을 다루고 있다. 또한 2020년까지 3개의 수소 자동차 부품조립 자동화 라인을 실증하고 경쟁력 있는 부품 서플라이 체인 구조를 확립할 계획이다.



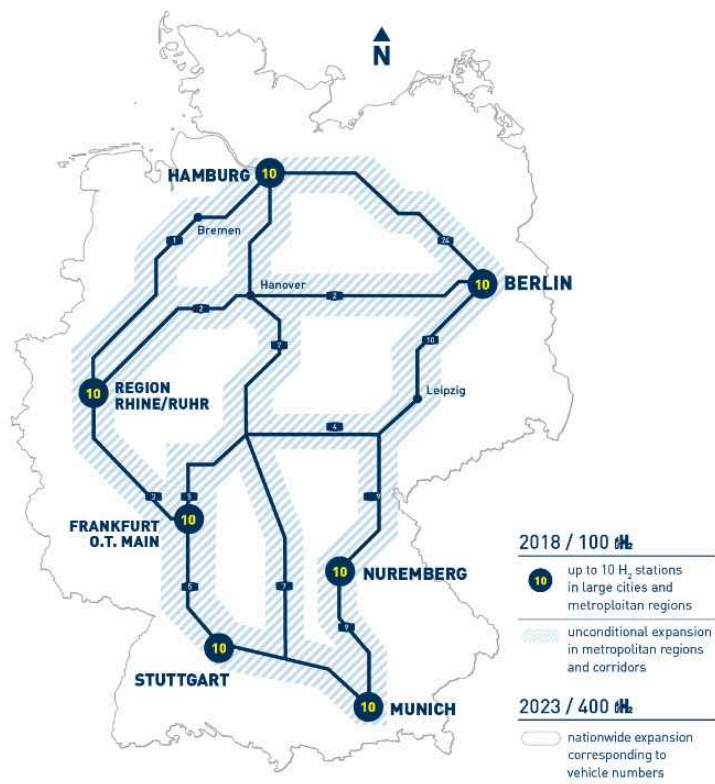
<유럽 내 수소 충전소 현황>

자료: www.h2stations.org

< 독일 >

독일에서는 2002년 연료전지 자동차와 수소 충전소의 실증 프로젝트 CEP (Clean Energy Partnership)가 실시되었다. Daimler와 BMW, Linde등 독일기업과 일본의 도요타와 미국의 Ford, 우리나라의 현대자동차 등이 참여한 유럽 최대 프로젝트였으며 수소 충전소의 확충을 목표로 총 14억 유로가 투자되어 진행되었다. 또한 2009년 독일 내 수소·전기자동차 및 충전소 보급 로드맵을 수립하고 경제성을 분석하기 위하여 독일정부의 노력으로 H2 Mobility가 설립되었다. H2 Mobility는 정부기관 1개와 자동차회사 7개, 에너지회사 7개, 전문기관 4개의 합작투자를 통해 설립된 프로젝트기업이다. 로드맵에 따라 1단계(2019년까지) 수소

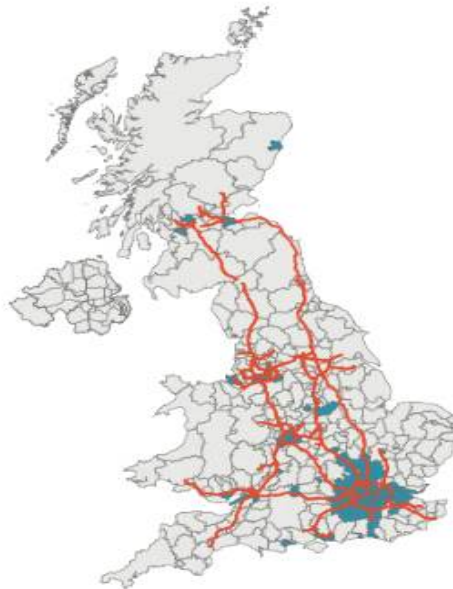
충전소 100기 건설, 2단계(2023년까지) 수소 충전소 400기 건설을 목표로 하고 있다. 현재 7개의 대도시(베를린, 뉘른베르크, 뮌헨, 슈투트가르트, 프랑크푸르트, 라인루르, 함부르크)를 거점으로 각 도시 간 연결도로에 90km마다 수소 충전소를 설치할 계획이며 민간기업과 함께 설계·건설을 추진 중에 있다.



<독일 내 수소 충전소 보급 로드맵>
 자료: h2-mobility.de

<영국>
 영국은 2012년 수소 자동차의 보급을 위하여 정부와 자동차업체가 함께 참여하는 UK H2 Mobility를 출범시켰다. Phase1(2012년) 단계에서 이산화탄소 배출량, 경제효과 등의 목표를 수립하였고 Phase2(2013년) 단계에서 각 업계 간의 역할분담, 수소 자동차 보급 관련 시나리오 등을 정하였다. Phase3(2014~2015년) 단계에서는 수소 충전소의 구체적인 보급 진행과 첫 수소 자동차의 보급이 이루어졌으며 현재 진행 중인 Phase4(2016년~) 단계에서는 수소 자동차 160만대 보급과 수소 충전

소 1,150개 로드맵을 수립하여 수소 충전소에 대한 투자 확대 및 유럽 내 다른 국가와의 교류 협력 확대 등이 추진되고 있다. 영국은 2020년까지 얼리어답터들에게 수소 자동차를 초기 판매하고 2030년까지 150만 명의 수소 자동차 운전자 확립을 목표로 하고 있다.



< 영국 수소 충전소 보급현황 >

자료: www.ukh2mobility.co.uk

<프랑스>

프랑스에서는 현재 44개의 수소에너지 관련 프로젝트를 민관이 협력하여 수행 중이며 올인원 초소형 수소 충전소, 신재생에너지 보트 등 새로운 모델의 수소 충전소 및 어플리케이션 개발에 집중하고 있다. 2015년 수소 동력을 사용하는 택시 차량인 ‘Hype’를 출시하였고 2020년까지 600대까지 보급을 확대할 계획이다. 또한 프랑스의 에너지기업 Air Liquide는 파리 샤를 드 골 공항에 700bar 수소 충전소를 설립하는 등 프랑스 전역에 수소 충전소를 개설할 예정이다. 여기에 2040년부터 경유차와 휘발유차의 판매를 금지하는 정책을 발표하면서 수소연료자동차를 포함한 친환경차에 대한 지원을 대폭 강화할 것을 시사하기도 했다. 2017년 프랑스의 수소 충전소 보급현황은 운영 14기, 건설중인 곳은 4기이고 계획은 10기이다.

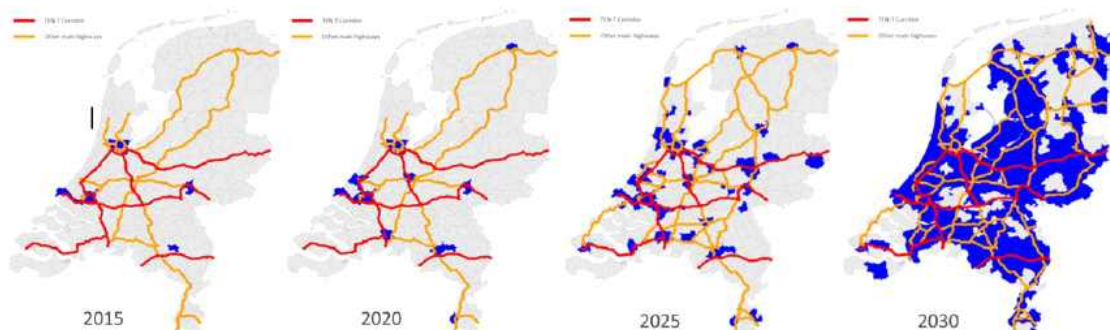


<파리 샤를 드 골 공항 내 수소 충전소(Air Liquide社)>

자료: www.airliquide.com

<네덜란드>

파리 국제 환경조약의 이행을 위하여 수송 분야 친환경차 보급을 위해 정부차원의 계획을 수립하고 있다. 네덜란드 정부에서는 2015년부터 수소 자동차 보급을 위한 프로젝트를 시작하여 2020년까지 20개소의 공공 수소 충전소 설치와 1,500대의 수소연료전지 자동차와 100대의 수소연료 전지버스 보급을 목표로 하고 있다. 아래의 그림은 네덜란드가 계획한 고속도로 수소 충전소 설치 시 수소 자동차 보급을 예측한 자료로 빨간 선은 수소 충전소가 설치된 Ten-T (Trans-European Transport Network) 공용도로를 의미하며 노란 선은 수소 충전소가 설치되어있지 않은 일반 도로, 파란 면적은 수소 자동차량을 이용할 수 있는 인구를 의미한다.



<네덜란드의 연도별 수소 자동차 보급 예측 자료>

자료: www.iphe.net

라. 수소 자동차 충전기술

(1)충전시스템 제어

충전을 시작하면 저압용기로부터 충전을 개시하여 고압용기까지 사용하는데 이 때 고압용기 압력이 설정 압력값 이하로 떨어지면 압축기는 자동적으로 가동되어 Priority 밸브시스템을 통하여 고압용기를 채우기 시작한다.

용기의 충전이 약 3,200psig가 되면 Priority 시스템은 중압 용기의 밸브를 열어 중압 용기를 채우기 시작, 같은 동작원리로 저압용기를 충전하여 3,200psig 부터 세 개의 용기를 동시에 충전하게 되고 용기의 압력이 3,600psig가 되면 압축기는 정지한다.

이와 더불어 긴급차단장치(ESD; Emergency Shutdown System)는 눌렸을 때 디스펜서로 가는 가스의 흐름을 차단하고 디스펜서와 압축기를 정지시킨다.

(2) 충전기술

<캐스케이드 방식(Cascade 방식)>

차량에 탑재되어 있는 연료 용기와 충전시스템의 저장용기간의 압력차를 이용하여 연료 용기에 연료를 충전하는 방식으로 저장용기와 연료용기간의 압력차를 실시간으로 점검하면서 충전하게 된다. 저장용기로부터 차량에 탑재되어있는 연료용기에 충전되면서 점차적으로 압력차가 줄어들어 유량이 적어지면 충전 시간이 길어지게 된다. 그러므로 충전시간의 단축을 위하여 세 개의 용기 중 다음 용기로 이동하면서 충전시간을 단축한다. 충전순서는 저장용기와 연료용기간의 압력차에 따라서 저압용기부터 시작하여 중압 및 고압용기로 이동한다.

수소 자동차의 충전은 CNG 자동차충전과 동일하나 350bar 또는 700bar의 매우 높은 압력에서 행해지므로 충전 시 수소 용기에 무리가 갈 수 있어 안전이 강화된 기술을 적용하고 있다. 안전을 위한 목적으로 용기 내부의 온도, 압력을 실시간 파악하여 충전 온도와 압력을 제어하기 위하여 수소 충전기술(SAE J 2601 CODE) 및 통신관련규약(SAE J 2799)을 국제표준으로 제정 중에 있다.

Ⅶ. 이산화탄소 포집·활용·저장 기술

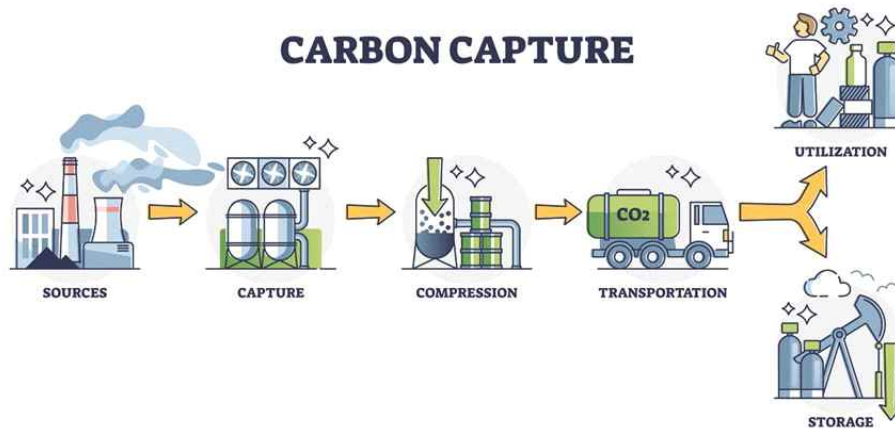
최근 지구온난화로 전 세계 곳곳에서 이상기후 현상이 발생하고 있다. 북극 빙하 면적이 역대 최저 수준으로 줄어들었고, 일부 지역은 극심한 가뭄으로 목살을 앓고 있다. 이에 따라 미국을 포함한 세계 여러 국가들이 지난 2015년 *파리기후협약을 체결하여 오는 2030년까지 전 세계 온실가스 배출량을 절반으로 줄이고 2050년까지 **넷제로(Net-Zero)를 목표로 노력하고 있다.

* 파리기후협약 : 지구의 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2℃ 이하로 유지하면서, 더 나아가 온도 상승 폭을 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 국제협약

** 넷제로(Net-Zero) : 6대 온실가스 배출량을 모두 '0'으로 만드는 것

이를 위해 전체 온실가스 중 가장 많은 배출량을 차지하고 있는 이산화탄소를 줄여야 하는데 여기서 나온 개념이 탄소중립이다. 탄소중립은 배출되는 탄소량과 흡수 및 제거되는 탄소량을 같게 만들어 실질적 배출량이 '0'이 되도록 하는 것이다.

탄소중립을 위한 필수적인 기술이 바로 이산화탄소 포집·활용·저장 기술인 CCUS(Carbon Capture Utilization & Storage)이다. CCUS는 CCU(Carbon Capture Utilization)와 CCS(Carbon Capture Storage)를 통합하는 기술로 화석연료를 사용하는 발전 설비나 철강, 시멘트 공장 등 산업 설비에서 발생하는 이산화탄소(Carbon dioxide)를 대기 중으로 배출되기 전에 포집(Capture)하고, 회수된 이산화탄소를 안전한 시설에 저장(Storage)하거나 전환해 부가가치를 보유한 물질로 활용(Utilization)하는 기술이다.



<CCUS 과정>

[자료] K-CCUS

(1) 포집기술(Capture)

: 대규모 산업공정 시설에서 발생한 온실가스 중 다양한 방법들로 이산화탄소(CO₂)만 선택적으로 포집하는 기술

(2) 수송기술(Transportation)

: 포집된 이산화탄소를 격리 또는 저장 및 활용할 수 있는 곳까지 안전하게 수송하는 기술

(3) 저장기술(Storage)

: 포집기술을 통하여 포집된 이산화탄소를 지하 심부 지층, 해양, 광물에 주입하여 영구 또는 반영구적으로 격리하는 기술

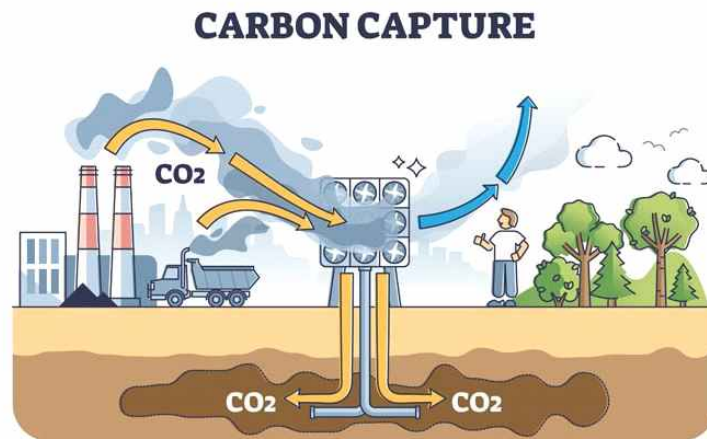
(4) 활용기술(Utilization)

: 산업시설, 발전시설 등 다양한 배출원으로부터 포집한 이산화탄소를 직접 사용하거나 산업에 유용한 제품으로 생산하는 기술

가. CCUS의 기술

(1) 포집기술(Capture)

포집기술은 CCS 전체 비용의 약 70~80%를 차지하는 핵심기술이며, 이산화탄소의 포집공정 위치 또는 분리대상 가스 혼합물의 종류에 따라 ‘연소 전 포집기술’, ‘연소 후 포집기술’ 및 ‘순산소 연소 기술’ 등으로 구분한다.



<포집기술>

[자료] K-CCUS

1) 포집 단계별 분류

① 연소 전 포집 기술(Pre-combustion CO₂ capture)

: 연소를 통해 이산화탄소가 발생하지 않도록 하는 기술로서 연료를 산소와 반응시켜 합성가스를 제조하는 공정에서 발생하는 이산화탄소를 가스터빈에 유입되기 전에 선택적으로 CO₂를 포집하는 기술

② 연소 후 포집 기술(Post-combustion CO₂ capture)

: 화석연료의 연소 후 배가스(flue gas)에 포함된 CO₂를 흡수탑에서 흡수제(액상 용매, 고체 입자 등)를 이용하여 선택적으로 포집하고 재생탑에서 스팀으로 가열하여 고순도의 CO₂를 회수하는 기술

③ 순산소 연소 기술(Oxy-fuel combustion)

연료 연소에 공기 대신 순수한 산소를 이용하는 기술로, 배가스 대부분이 이산화탄소와 수분으로 구성되어 추가적인 CO₂ 분리설비가 필요 없는 기술

< CO₂ 포집 기술 개념도 >



자료 : 정부 이산화탄소 포집 활용 (CCU) 기술혁신 로드맵(안)

2) 포집 방법별 분류

① 습식포집기술

: CO₂가 액체와 접촉하였을 때, 헨리의 법칙에 의한 기체 용해도 차이 또는 액상흡수제와 CO₂ 사이의 산·염기중화 반응을 활용하여 기체 내 포함되어 있는 CO₂를 액체 쪽으로 분리하는 기술

② 건식포집기술

: 화석연료(석탄, 석유, 천연가스 등)를 사용하는 발전소, 보일러, 소각로 등의 에너지 전환 시스템에서 배출되는 연소배가스나 가스화기에서 생성되는 합성가스 중에 포함된 CO₂를 고체 입자를 이용하여 선택적으로 포집하는 기술

③ 분리막포집기술

: 연소 전·후 과정에서 CO₂를 선택적으로 투과시키는 소재인 분리막(membrane)을 이용하여 CO₂를 포집하는 기술

(2) 수송기술(Transportation)

다양한 방법으로 포집한 이산화탄소를 저장소(격리) 또는 활용할 수 있는 곳까지 안전하게 수송하는 기술로 저장 격리 지역과의 거리에 따라 육상·해상 파이프라인, 차량(철도 포함) 및 탱크로리를 이용한 육상 수송, 선박을 활용한 해상 수송 등으로 구분한다.



<수송기술>

[자료] K-CCUS

1) 배관수송 기술

: 단거리 수송에 적합한 기술이며, 높은 동력과 100bar 이상의 압력을 견디는 파이프라인 구축 및 안전성 기술



- 배관수송 설계 최적화 기술
- 해저배관 구축 및 운영 기술
- 고압가스배관관리 기술
- 해저배관설치 기술
- 부식 방지 배관 소재 개발

[자료] K-CCUS

2) 수송선 기술

: 원거리 수송에 적합한 기술이며, 특수선박 조선기술 및 운영하는 기술

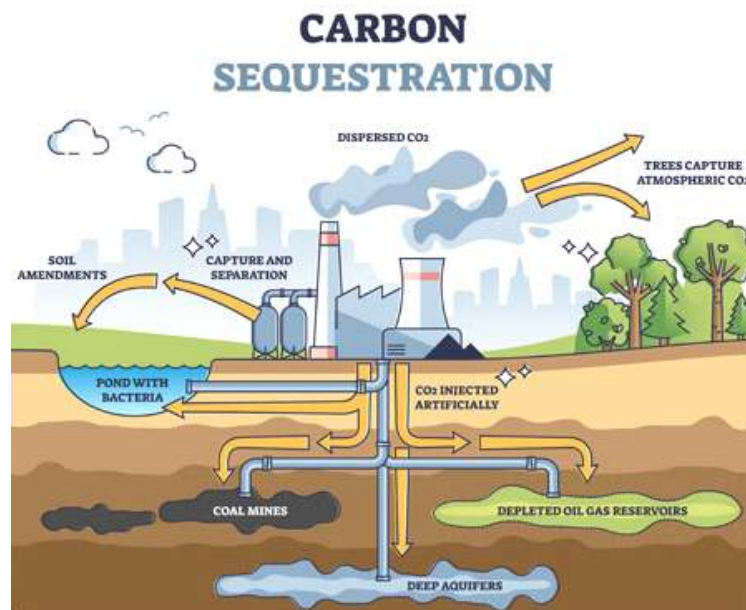


- 특수선박 조선 및 운영기술 개발
- FPSO 특수선 건조 기술

[자료] K-CCUS

(3) 저장기술(Storage)

포집기술을 통하여 포집된 고농도의 이산화탄소를 지하 심부 지층(지중 저장소)에 주입하여 영구히 격리하는 기술



<저장기술>

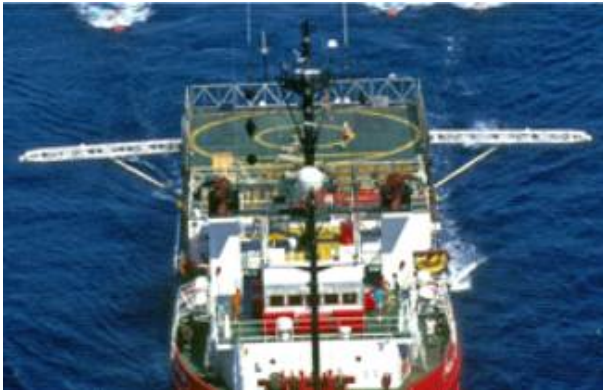
[자료] K-CCUS

이산화탄소를 안전하고 효율적으로 저장 및 격리할 수 있는 지층

- 지하 800m 이상 다공질 지층
- 이산화탄소 상승이동을 차단하기 위한 저장층 상부 덮개암 존재

1) 저장소 탐사 기술

: 저장소를 확보하기 위한 지질조사·물리탐사·시추탐사 및 평가 기술



[자료] K-CCUS

- CO₂ 저장소 탐사 및 시추 기술
- CO₂ 저장소 평가 및 저장 모델링 기술공정을 통하여 메탄, 메탄올, 휘발유 및 경유 등과 같이 연료 또는 연료첨가제로 활용하는 기술

2) 주입 기술

: 포집된 CO₂를 안전한 심부지층에 주입하여 영구히 저장하는 기술



[자료] K-CCUS

- CO₂ 주입설비 구축 기술
- CO₂ 주입운영 최적화 기술

3) 모니터링 기술

: 주입된 CO₂를 탐지하여 저장소에서의 거동 및 누출을 추적하는 기술

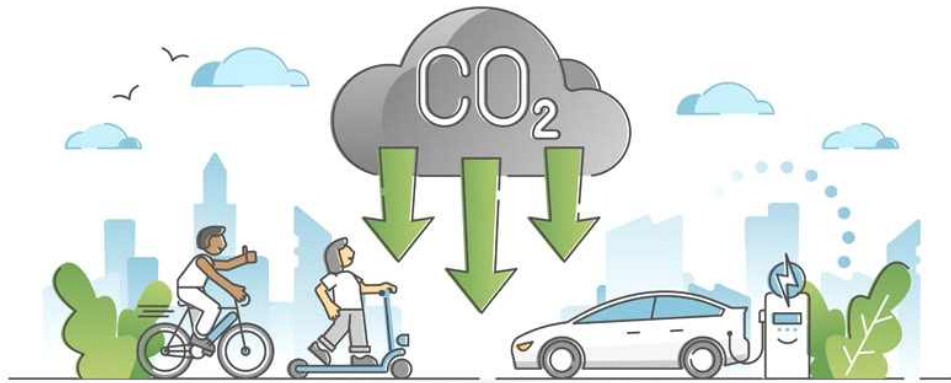


[자료] K-CCUS

- 고성능 CO₂ 모니터링시스템 기술
- CO₂ 거동·누출 감지 및 누출 대응 기술

(4) 활용기술(Utilization)

다양한 배출원(발전, 산업 등)으로부터 포집한 고농도의 이산화탄소를 유용한 물질로 전환하거나 직접 이용하는 기술



<활용기술>

[자료] K-CCUS

1) 연료전환 기술



[자료] K-CCUS

- 이산화탄소를 화학적 생물학적 전환 공정을 통하여 메탄, 에탄올, 휘발유 및 경유 등과 같이 연료 또는 연료첨가제로 활용하는 기술

2) 화학전환 기술



[자료] K-CCUS

- 이산화탄소를 반응원료로 이용하여 화학적 전환 공정을 통해 연료·기초화학제품 등의 다양한 탄소화합물로 전환하는 기술

3) 생물전환 기술



[자료] K-CCUS

- 이산화탄소를 생물학적으로 고정하여 미세조류 바이오매스를 생산하고, 이를 바이오연료·바이오소재 등으로 제품화하는 기술

4) 광물탄산화 기술



[자료] K-CCUS

- 이산화탄소를 탄산염 형태로 전환하여 광물화하여 화학제품 등 제품화하는 기술