

02 천연가스자동차 용기

1. CNG 용기기술 동향

CNG 자동차에서 사용되는 CNG 용기는 사용 재료와 복합재료 강화 방법에 따라 Type I, Type II, Type III, Type IV 네 가지로 구분된다.

우리나라에서는 Type I, II가 보급되어 있으며, 개조시장에서는 Type I, II, III, IV 모두 사용되고 있다. 국내 개발 이전에는 이태리 Faber사 제품을 주로 수입하여 사용하였다.

Type I 용기는 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속제 용기로 복합재료에 의한 구조적 강화 없이 금속 재료만으로 압력하중을 견디도록 만든 용기이다. 이러한 형태의 용기는 높은 압력을 견디기 위하여 용기의 벽 두께를 두껍게 해야 하므로 무게가 많이 나가는 단점이 있다.

Type II 용기는 Type I 압력용기에서 원통부분의 벽 두께를 감소시켜 무게를 줄이기 위해 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속제 라이너 위에 수지를 함침시킨 탄소섬유나 유리섬유를 원주방향으로 감아서 보강한 복합재료 용기이다.

이 형태의 용기는 Type I에 비해 무게는 다소 감소되지만 라이너가 압력하중의 일부를 부담해야 하므로 용기 양 끝단 돔부분의 벽 두께가 두껍게 제작되므로 경량화 정도는 그다지 크지 않다. 또한 복합재료가 몸통부분만 원주방향 보강이 되고 길이 방향으로는 보강이 되지 않아 길이방향의 파손에 대한 우려가 있다.

Type III 용기는 강 또는 알루미늄으로 만들어진 얇은 금속제 라이너 위에 에폭시나 불포화폴리에스터 수지를 함침시킨 탄소섬유나 아라미드 섬유 또는 유리섬유를 원주방향과 길이방향으로 감아서 보강한 용기로 금속제 라이너는 하중을 부담하지 않거나 극히 일부 분만을 부담하도록 제작된다.

Type IV 용기는 용기의 경량화를 목적으로 나일론이나 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)과



같은 비금속 재료로 만들어진 라이너 위에 수지를 함침시킨 탄소섬유나 유리섬유를 원주 방향과 길이방향으로 감아서 보강한 용기로 비금속 재료로 만들어진 라이너는 하중을 거의 부담하지 않고, 가스가 새지 않도록 하는 역할만을 한다.

Type IV 용기는 우리나라에서도 개발되어 CNG 개조차 시장에 판매되고 있지만 상대적으로 높은 가격 문제로 시장 진입에 어려움을 겪고 있는 형편이다.

Type III와 Type IV 용기를 초경량 복합재료 CNG용기라고 부른다.

초경량 복합재료 CNG 용기는 가스를 담아두는 알루미늄 또는 플라스틱 라이너를 탄소섬유 복합재료로 길이방향과 원주방향으로 보강한 탱크이다. 이는 기존 금속제 용기보다 2배 이상 가볍다. 사용되는 소재의 내피로(耐疲勞) 특성이 우수하여 내구성도 뛰어나다. 하지만 보강재로 사용되는 탄소섬유의 가격이 고가이므로 제품 가격은 기존의 금속제에 비해 높다.

전통적으로 천연가스 자동차가 많이 보급되어 있는 남미 국가들은 대부분 Type I 또는 Type II와 같은 금속제 용기를 사용하고 있다.

초경량 용기인 Type III, Type IV는 1990년대부터 보급되기 시작하여 미국, 일본, 캐나다, 독일 등의 선진국에서 주로 사용하고 있다. 우리나라에서도 현재 보급이 점차 늘어나고 있다. 차량의 성능 향상을 위해 초경량 용기의 사용이 점차 확대되고 있으나 세계적으로 초경량 용기의 시장 점유율은 아직은 낮은 수준이다.

2. LNG 용기기술 동향

LNG 자동차가 기존 연료(석유계열 및 CNG)와 대별할 수 있는 가장 큰 특징은 연료의 저장 상태라고 할 수 있다. 낮은 임계온도에서 기인하는 초저온이라는 사실 외에도 연료가 포화상태로 저장된다는 또 다른 특성이 있어 용기 내에서 연료의 상변화가 발생하고, 온도, 압력 등이 정상상태를 보이지 않으므로 이를 엔진용 연료로 적절하게 사용하기 위해서는 일반 용기에 비해 높은 열역학적 기술이 필요하다.

LNG자동차용 연료용기는 기본적으로 초저온 액화천연가스를 저장한다는 기능적인 면에서 산업용 초저온용기와 유사하다. 그렇지만 연료용기의 경우 외부환경에 노출되어 있으면서 움직이는 자동차에 장착되므로 용기의 이동유무, 고정형태, 저장가스의 특성 등에서 산업용 초저온 용기와 구분되는 몇 가지 특징이 있다.

LNG자동차용 연료용기는 산업용 초저온 용기와 달리 차량에 고정하여 사용하고, 가연성 가스인 액상의 천연가스를 저장한다. 그리고 산업용 초저온용기는 직립으로 세워진 상태에서 내부의 기체 상태의 가스를 사용하지만 LNG자동차 용기는 수평으로 고정된 상태에서 주로 액체 상태로 배출하도록 구성되어 있다. 초저온용기의 크기는 외경이 300~500mm이고 높이가 920~1,480mm에 해당하며 내용적이 28~175 ℓ까지 생산되고 있다. 반면에 대형 차량(버스 or heavy duty truck)에 적용되는 LNG 연료용기의 경우, 외경 660mm, 길이 약 1,930mm, 내용적은 450 ℓ에 달한다.

LNG 연료용기는 현재 미국에서 제작한 3개 회사의 제품이 있는데, 그 중 상업화된 일부가 차량에 장착되어 운행 중에 있으며, 우리나라에서도 (주)한비의 국산화된 용기가 유통되고 있고 한국가스공사 연구개발원이 개발한 용기가 있다.

연료용기 내부는 운전온도가 약 -120°C 전후의 초저온 상태이므로 증발가스를 최대한 억제하기 위해서는 우수한 단열성이 요구된다.

연료용기는 스테인리스 스틸 재질의 원통형 이중구조로써 내조와 외조로 구성되어 있고, 내조와 외조 사이에는 일반적으로 초저온 탱크에 사용되는 perlite 단열 방식보다 단열성이 우수한 다층형 단열법(MLI : Multi Layer Insulation)을 적용하고 있다. 이러한 Super Insulation(이하 SI)은 반사판과 단열 페이퍼를 여러 겹으로 감는데 내조의 외표면에만 접촉하도록 되어 있다. 물론 반사판은 복사열을 차단하고 단열페이퍼는 반사판과 반사판간의 열전도를 차단하는 기능을 한다. 감이주는 매수는 허용 침입열량에 따라 결정된다. SI에서 전도 및 대류열전달 차단을 위해 가장 효과적인 진공도는 1×10^{-4} Torr 정도이

미국에서는 LNG 자동차와 관련 연료용기에서의 웨더링 현상을 줄이기 위하여 Ullage tank의 설치나 98% 이상의 메탄 농도를 가진 LNG를 사용하는 등 여러 가지 방안들이 강구되고 있다. 우리나라에서 사용되고 있는 액화천연가스는 메탄농도가 90% 전후이므로 사용하지 않고 장기간 저장될 경우, 웨더링 현상에 의해 LNG의 온도가 상승될 때에 LNG 성분 중 가장 끓는점이 낮은 메탄이 먼저 기화되면서 남아있는 LNG의 조성이 달라져 엔진 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문에 특별히 장거리 대형트럭이나 고속버스를 중심으로 보급할 필요성이 있다.

초저온 용기는 질소나 아르곤 등의 액화가스의 용기로 의료분야나 산업전반에 활용되어 왔으나, LNG용으로 활용되기 시작한지는 그리 오래되지 않았다. 현재 전 세계적으로 LNG 초저온 용기를 생산하여 판매하고 있는 업체는 수요시장의 한계로 인해 매우 영세한 수준에 머무르고 있다. LNG 초저온 용기 제작사는 국내·외적으로 10개 내외의 소수의 업체가 개발·판매를 하고 있다. 그 중에서도 NEXGEN이 가장 이른 상용화를 시작하였다.

LNG 초저온 용기가 BOG 발생 억제와 안전성을 확보하기 위해서는 보다 높은 기술력이 필요하다. 이로 인해 LNG 용기의 가격은 현재 수요가 많지 않아 대량생산이 불가하여 대략 1,000~1,200만원대에 가격이 형성되고 있다. 이에 따라 한국가스공사는 LNG 차량 개발과 더불어 충전용기의 국산화 작업을 완료, 민간기업에 기술이전 한 바 있으며, (주)한비 등 국내 업체 및 여러 관련 국가에서 LNG 초저온 용기의 개발을 통해 가격의 인하를 모색하고 있다.



(주)한비에서 개발한 LNG 용기.

LNG자동차일지라도 CNG차량과 같이 엔진에서는 가스를 연료로 사용하기 때문에 연료용기에서 공급된 LNG를 증발시켜야 한다. 열교환기는 이러한 기능을 수행하기 위해 연료용기에서 나온 LNG를 자동차 냉각수의 열을 이용하여 기화시키는 장치이다. 일반적으로 열교환기는 연료용기와 함께 패키지로 완성차 업체에 납품되고 있다. 현재 상용화되어 있는 LNG 연료용기 업체의 열교환기는 냉각수와 연료의 관경이나 접속구의 크기 차이는 있지만 모두 내부관이 헬리컬 타입인 이중관형 열교환기의 형태를 취하고 있으며, LNG가 내부관을 통과하면서 기화되어 NG로 된다.

열교환기는 일반적으로 널리 사용되는 Counter flow 방식이 아닌 Parallel flow 방식을 채택하고 있는 점이 다소 특이하다고 할 수 있다. 이는 고온유체의 출구온도가 저온유체(천연가스)의 출구온도보다 낮을 수는 있다(실제로 불가능하지만)는 이상적인 이론에서 볼 때 엔진 냉각수의 동결 가능성을 최소화하기 위한 것으로 분석된다. 열교환기의 효율보다는 안전성에 포커스를 맞추었다고 할 수 있을 것이다.

압력조정기는 기체상태의 천연가스가 일정한 압력으로 흡기매니폴더에 분사될 수 있도록 해주는 역할을 한다. 운전조건에 따라 연료용기 내에 고압이 형성되어 있는데 반해 엔진은 이에 맞도록 설계되어 있지 않는 경우 압력조정기의 기능이 필요하다.

차단밸브는 엔진의 전기계통에 연결되어 있다. 이 솔레노이드 밸브는 엔진이 꺼지면 밸브를 닫아 연료시스템과의 연결을 차단한다.

현재 상품화 실적이 있는 연료용기 제작사에서 추천하는 연료배관의 관경은 제작사에 따라 조금의 차이가 있는데, 외경 9.5mm와 12.7mm의 SUS관을 권장하고 있다. 그리고 액상과 기상에는 관경의 차이를 두지 않았다.

LNG 차량 연료공급시스템의 주요 구성품은 충전구, 릴리프밸브, 단열용기, 연료게이지, 발생한 BOG를 일시 저장하여 두는 Ullage tank, vent line, 기화기, 레귤레이터 등이다. 제작사마다 구조나 성능 면에서 차이는 있으나 주요 구성품에 대하여는 대동소이하다.

현재 개발된 LNG 충전시스템에는 크게 두 가지 방식이 있는데 LNG를 주입하는 호스라인이 하나만 있는 싱글라인 방식과 LNG를 주입하는 호스라인, 차량연료탱크안의 BOG를 추출할 수 있는 호스라인 이 두개의 호스를 사용하는 듀얼라인 방식이 있다.

이 방식은 각각 장단점을 가지고 있는데 먼저 싱글라인 방식을 살펴보면 현재 대부분의 충전시스템이 이 방식을 사용하고 있어 LNG연료용기의 표준화가 간단히 해결된다. 그리고 Heat Exchanger를 통해 예열을 하여 충전하기 때문에 기화가 쉽게 이루어질 수 있어 엔진에 가스를 원활히 공급하여 엔진성능 및 운전성에 도움을 줄 수 있다. 그러나 예열을

한 후에 충전하기 때문에 LNG의 밀도가 낮아져서 충전되는 연료량이 적을 우려가 있으며, 장기간 운영을 하지 않는 경우 연료용기 내에서 많은 BOG가 발생하여 Weathering 현상이 일어날 수 있어 엔진연소에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 매일 운행하는 정기노선 버스나 화물차들에 적합한 충전방식이라고 할 수 있다.

반면, 듀얼라인 방식은 싱글라인 방식과는 반대로 연료용기 내의 BOG를 회수하면서 예열하지 않은 LNG를 주입하기 때문에 실제 충전량은 싱글라인 방식보다 많다. 하지만 -150°C 이하의 초저온의 연료가 주입되기 때문에 기화하는데 많은 외부열을 필요하게 되고 기화성능이 저하됨에 따라 엔진성능의 저하가 우려된다.

현재는 싱글라인 방식이 주류를 이루고 있으며, 듀얼라인 방식도 개발되었다.

차량용 LNG용기 및 연료공급시스템은 주로 미국에서 개발 및 생산되고 있으며 ▲ California Code of Regulations, Title 13, Division 2, Chapter 4, Article 2 ▲ National Fire Protection Association - NFPA 57 ▲ Society of Automotive Engineers - SAE J2343 ▲ Department of Transportation - DOT 4L ▲ ASME Section VIII Division 1 등 미국의 기술기준 및 관련 법규에 따라 관리되고 있다.

