



압축천연가스 자동차의 안전성 향상을 위한 제언

김영섭* · †박교식 · 김태옥**

서울대학교 화학공정신기술연구소, *한국가스안전공사, **명지대학교 화학공학과
(2012년 7월 2일 투고, 2012년 8월 27일 수정, 8월 27일 채택)

Suggestion for Safety Improvement of Compressed Natural Gas Vehicle

Young-Seob Kim* · †Kyoshik Park · Tae-Ok Kim**

ICP, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

*Korea Gas Safety Corporation, Shihung 429-712, Korea

**Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

(Received July 2, 2012; Revised August 27, 2012; Accepted August 27, 2012)

요 약

지난 2010년 8월 9일 발생한 압축천연가스(compressed natural gas, CNG) 버스의 내압용기 파열사고 이후 정부는 CNG자동차의 안전관리 체계를 구축하기 위하여 다각적인 연구를 수행하였으며, 본 내용은 그 주요 내용을 정리한 것이다. CNG자동차의 안전성 향상을 위해 관련 법령, 검사인증기준 등 안전관리제도를 검토하였고, 더불어 CNG자동차 관련 종사자(검사원, 정비원)에 대한 교육훈련 등도 검토하였다. 주요 검토내용으로는 CNG자동차용 용기형태, CNG용기의 설치위치, 압력방출배관의 재질 및 설치형태, 배관접속 및 집합방법, 가스누출 경보 시스템, 긴급차단밸브 및 작동 스위치, CNG용기 보호커버, CNG 자동차 충전사업자의 공급자 의무사항, CNG자동차의 정기검사제도, CNG자동차의 일상점검 제도, CNG자동차 종사자의 교육훈련제도, CNG버스 운송사업체의 안전관리자 선임제도 등이다. 위의 주요 항목들을 중점적으로 검토하여 CNG자동차의 안전성 향상 방안을 제안하였다.

Abstract - Systematic safety research by Korea Government has been made to enhance the safety of CNG (compressed natural gas) vehicles since the burst of compressed cylinder of an urban bus in August 9, 2010. This article summarizes some major activities to ensure the safety of CNG vehicles, which covers review of regulation, safety management system including standard of inspection and certification, and training program of inspectors and car mechanics. Specifically, the followings were reviewed; type of CNG cylinder, location of CNG cylinder, material and type of fuel line and vent line, modification of pipeline connection, installation of gas detector, installation of emergency shutdown valve, installation of protecting cover for cylinder, obligations for CNG vehicle filling station. improving periodical inspection, routine test on gas vehicles, training program for engaged in gas vehicles, and designation of safety manager for CNG bus company. This paper suggests how to improve safety of CNG vehicles as a result of review of above mentioned check items.

Key words : CNG vehicles, safety improvement, regulation, safety management

†주저자:hwayi21@empal.com

I. 서론

정부는 2002년 한·일 월드컵을 앞두고 도심지 대기환경을 개선할 목적으로 CNG자동차를 보급하기 시작하여 2012년 1월 현재 전국에서 운행 중인 CNG자동차는 약 33,900여대에 이르고[1], 천연가스 자동차의 충전소 또한 전국적으로 164개소에서 511개의 충전기가 가동 중에 있다[2]. 따라서 대도시 대기오염의 주원인이었던 대형 경유버스가 천연가스버스로 바뀌면서 대기환경은 눈에 띄게 개선되었고, 여름철이면 빈번히 발령되던 오존주의보가 간헐적으로 발령되면서 도심지 외출에 대한 두려움도 사라졌다. 이와 같은 긍정적인 효과와는 달리 2005년 이후 10차례 발생한 CNG버스 사고[3]는 대중교통을 이용하는 대다수 시민의 우려를 자아내고 있는 것 또한 사실이다.

본 연구에서는 지금까지 발생한 10차례의 CNG버스 사고사태를 바탕으로, 관련 법령, 기준 및 제도, 충전소의 시설, 그리고 안전장치의 성능 등을 검토하여 향후 CNG자동차의 사고발생을 방지하기 위한 안전성 향상 방안을 제시하였다.

II. CNG자동차의 안전성 향상 방안

2.1. CNG자동차 관련 법령 및 기준의 재검토

2.1.1. 고압가스안전관리법 검토

(1) CNG자동차용 용기형태

CNG자동차용 용기는 그 형태에 따라 어떤 용기가 안전한지를 단정적으로 말할 수는 없으며, 또한 현재 전 세계적으로 CNG자동차용 용기형태를 규정하고 있는 법은 없는 실정이다. 다만, 용기의 원재료가 완전하고, 제조공정을 철저히 관리하여 결함이 있는 용기를 출고 전에 발견할 수 있다면 어떤 형태의 용기라도 안전성을 확보할 수 있다고 본다. 북미에서는 CNG자동차용 용기로 Type III, IV를 주로 사용하고 있고, 유럽에서는 Type I, II, III, IV의 용기를 구분 없이 모두 사용하고 있다[4]. 한국에서는 Type I, II의 용기를 주로 사용하고 있는데, CNG자동차용 용기를 버스 지붕 위에 설치했을 경우에 용기무게에 의한 전복 위험성, 용기 설치비용, 연비, 브레이크 라이닝 및 휠의 소모품 교환주기 등을 복합적으로 고려하여 안전성과 경제성이 우수한 용기형태를 선택하는 것이 바람직하다고 생각한다.

(2) CNG용기의 설치위치

국내 CNG버스에 부착된 용기는 대부분 승객이 타고 내리는 객실 바닥의 밑에 위치하고 있기 때문에 CNG버스의 무게중심이 아래에 있다는 장점이 있지만 운행 중 각종 이물질이 용기에 흡착되기 쉽고, 일상 점검 시 점검이 어렵다는 단점이 있다. 즉, 용기부식 등에 대비한 검사 및 점검이 쉽지 않기 때문에 지속적인 유지관리측면에서 CNG용기의 설치위치를 객실 바닥 아래에서 버스 지붕 위로 변경하면 유리한 점이 많

Table 1. The domestic accidents of cylinders for CNG vehicles

사고일자	사고장소	사고유형	사고원인
'05. 1.27	현대자동차(주) 전주공장 내 CNG 충전소	CNG용기 파열	용기제조공정 상의 결함
'05. 8.19	전북도시가스(주) 덕진충전소	CNG용기 파열	용기 복합재료 손상결함
'07.12.20	경기도 구리시 인창동 북부 간선도로 위	천연가스버스 화재로 용기 파열	필터 연결부 가스누출로 인한 화재폭발
'08.07.12	충북 청주 용정충전소	CNG용기 파열	용기 제조공정 상의 결함
'08.08.18	광주시 동구 해양도시가스 월남충전소	CNG 용기 가스누출	용기에서 미세한 헤어크랙 발생
'08.09.14	인천시 부평구 공장지대 이면도로	연료배관 가스누출	연료장치부 연결배관의 나사 체결 불량
'09.07.07	전북 익산 송학충전소	CNG용기 파열	용기제조공정 상의 결함
'10.01.20	인천시 계양구 동화운수 차고지	CNG용기 가스누출	용기제조공정 상의 결함
'10.07.26	경기도 부천시	CNG용기 가스누출	용기제조공정 상의 결함
'10.08.09	서울시 성동구 행당동 도로	CNG용기 파열	전자밸브 및 복합재 손상

우 많다. 우리보다 CNG버스 역사가 10년 이상 앞선 미국 등 선진국에서는 승객의 안전과 승하차 시의 편의성을 고려하여 CNG용기의 설치위치를 버스 지붕 위에 두고 있고[5], 또한 북미보다 CNG버스가 먼저 보급된 유럽에서도 CNG용기는 지붕 위에 설치하고 있다.

따라서 구미 선진국의 사례를 통해 볼 때 CNG용기를 지붕 위에 설치하고, 안전성을 최우선으로 하면서 일상점검 등 용기의 유지관리를 용이하게 하여 CNG버스의 안전관리를 효과적으로 할 필요가 있다. 이 경우에는 당장 버스 생산라인 변경 등이 필요하기 때문에 CNG버스 보급정책에 맞추어 업계에서 자율적으로 결정하도록 유도하는 것이 바람직하다.

(3) 압력방출배관의 재질 및 설치형태

국내에서 운행 중인 CNG버스의 압력방출장치에 연결된 배관의 재질은 동관을 사용하고 있다. CNG버스에는 용기가 6~8개 설치되어 있고, 용기밸브마다 압력방출장치를 내장하고 있어서 압력방출배관은 집합관의 형태를 갖추고, CNG버스의 앞바퀴와 뒷바퀴 사이에 방출구의 말미(末尾)를 두고 있다. 2005년 1월 27일 현대차(주) 전주공장 사고와 같이 일단 압력방출장치가 작동하면 방출되는 압력의 반력에 의해 동 배관은 부러지거나 휘게 된다. 이보다 앞선 1996년 12월 29일에는 미국의 Eldorado National Bus Company에서 유사한 사고가 발생하여 압력방출배관의 재질을 동 배관에서 스테인리스 배관으로 모두 교체한 사례가 있다[6].

또한 방출구 개소는 현재 1개소에서 최소한 2개소 이상으로 분산방출이 가능한 구조로 바꿀 필요가 있는데, 이렇게 하면 단위시간동안 방출 가능한 가스의 양을 2배가 되도록 하는 효과가 있다. 그러나 이 경우에는 압력상승 시 스테인리스 배관이 막힐 염려가 있어서 오히려 용기가 폭발할 우려가 있고, 고압가스가 일단 방출되면 배관재질에 관계없이 가스압력에 의해 변형이 발생하는 문제점이 있다.

(4) 배관접속 및 접합방법

고압배관과 부속품을 접속하는 방법은 여러 가지가 있으나, 현재 국내에서는 미국 Parker-Hanifin사의 제품(seal-lok fitting)을 배관접속방법으로 채택하고 있다. 이 접속방법은 오랜 시간 진동에 노출되면 느슨해지거나 풀릴 수 있다는 단점을 지니고 있다. 실제로 이와 같은 사고가 2008년 9월 14일 인천시 부평구 공장지대 이면도로에서 발생하였다. 이 같은 우려 때문에 기존의 튜브피팅 대신에 용접에 의한 영구접합을 검토할 수 있으나 현재 CNG자동차를 운용하는 선진국 어디에서도 용접접합을 배관접합방법으로 채택하고

있는 국가는 없고, CNG자동차 관련 규격이나 코드에서도 용접접합을 강제하고 있는 규정은 없는 실정이다.

따라서 현 시점에서 CNG자동차의 배관 접속방법은 현재 채택하고 있는 튜브피팅 방식이 최선이라고 판단된다.

(5) 가스누출 경보시스템

가스누출 경보시스템은 연료장치에서 가스가 누출되었을 때 운전자가 가스누출을 쉽게 인지하여 화재나 폭발 등으로 사고가 계속 확대되는 것을 조기에 차단할 수 있게 한다. 현재 미국의 로스앤젤레스 메트로(L.A. Metro)에서 이 시스템을 적용하고 있으나, 다른 구미 선진국에서는 채택하고 있지 않은 제도이다. 또한 CNG자동차 관련 국제규격이나 코드에서도 강제(強制)하고 있지 않다[7]. 그러나 2007년 12월 20일 발생한 경기도 구리시 인창동 북부간선도로 위에서 발생한 CNG버스 화재 및 용기파열 사고와 2008년 9월 14일 인천시 부평구 공장지대 이면도로에서 발생한 고압연료배관의 가스 누출사고 등은 가스누출경보시스템이 부착되었더라면 화재나 누출이 신속히 조치되었을 것으로 보는 견해도 있다. 현재 가스누출경보시스템의 실효성을 입증하기 위한 「CNG버스 안전장치 실차 적용 모니터링 연구」가 한국가스안전공사에서 진행 중에 있으며, 이 연구결과에 따라 제도의 반영여부가 결정될 것으로 예상된다.

(6) 긴급차단밸브 및 작동 스위치

고압의 연료장치에는 유사시 가스의 공급원을 차단하는 긴급차단밸브를 구비해야 한다. 현행 KGS FU552(압축도시가스용 자동차 연료장치의 시설·기술·검사기준)에서는 긴급차단밸브를 주 밸브로 규정하고 있고[8], 실제로 CNG버스에도 고압 차단장치(high pressure lock-off)가 설치되어 있으나 긴급차단기능을 갖추었다고 보기는 어렵다. 북미에서는 고압용기의 용기밸브로 수동밸브를 부착하고 있고, 수동밸브 옆에 긴급차단기능을 갖춘 전자밸브를 구비하고 있다. 또한 운전석 대시보드(dash board)에는 작동스위치를 설치하여 언제든지 스위치 작동이 용이하도록 하고 있다. 반면에 유럽에서는 고압용기의 용기밸브로 수동밸브를 부착하고 있지 않고, CNG용기를 설치할 때부터 긴급차단기능이 있는 전자밸브를 두고 있다.

따라서 국내에서도 현재 운행 중인 CNG버스의 안전성을 실질적으로 향상시키고자 한다면 긴급차단기능을 갖춘 전자밸브를 용기밸브로 부착하는 것이 타당하다고 생각된다[9]. 이 문제 또한 (5)절의 가스누출경보시스템의 검토에서와 같이 「CNG버스 안전장치 실차 적용 모니터링 연구」결과에 따라 제도 반영여부

가 결정될 것으로 예상된다.

(7) CNG용기 보호커버

국내에서 사용하는 CNG용기는 강재(鋼材)로서 빗물 등 오물에 견딜 수 있도록 도장하여 차량에 부착한다. 그러나 운행 중 도로에서 비산하는 각종 이물질로부터 용기를 완전하게 보호하는 데는 한계가 있다. 현재 운행 중인 CNG버스에는 용기 보호커버(protective cover)로 철망을 부착하고 있는데, 돌 부스리기 등은 차단할 수 있지만 제설제인 염화칼슘이나 해수 등으로부터 CNG용기를 보호하기는 어렵다. 이와 같은 이유로 미국의 로스앤젤레스 메트로에서는 객실 바닥 밑에 설치된 용기를 보호하기 위해서 용기 보호커버를 CNG용기 바로 밑에 설치하고, 용기 보호커버도 여닫을 수 있는 구조로 부착하였다.

따라서 국내에서도 CNG버스 용기를 보다 나은 환경에서 관리하기 위해서는 CNG용기 보호철망 대신 블라인드 형태의 철판을 CNG용기 보호커버로 고려할 필요가 있다. 이 문제도 역시 가스누출 경보시스템과 긴급차단밸브 및 작동 스위치의 연구결과와 함께 제도 반영여부가 결정될 것으로 예상된다.

(8) 압축도시가스 자동차 충전사업자의 공급자의무 사항

도시가스사업법에서는 압축도시가스 자동차 충전사업자가 수요자에게 가스를 공급할 때에는 가스공급시마다 안전점검을 하도록 규정하고 있으나[10], 실제 충전 현장에서는 시간적인 제약으로 인해 잘 지켜지지 않고 있다. CNG버스 안전관리의 핵심은 연료공급계통을 수시로 점검함으로써 연료장치에서 나타날 수 있는 조그마한 결함도 사전에 찾아내는 것이다.

이 같은 필요에 의해 압축도시가스 자동차 충전사업자가 가스공급 시마다 안전점검을 실시하고, 점검 결과를 안전점검대장에 기록·유지하도록 하는 것이 바람직하다고 판단하여 현재 충전사업자가 수요자가 요청할 때마다 점검을 실시하도록 하였다(도법시행규칙 <별표 8>의2, 2010.7.28일 공포).

2.1.2. 자동차관리법 등 검토

(1) CNG자동차의 정기검사제도

현행 자동차관리법시행규칙 제3조 <별표 15>에서는 연료장치와 내압용기에 대한 검사기준과 검사방법을 규정하고 있다[11]. 그러나 앞서 CNG용기의 설치 위치에서 언급한 바와 같이 용기가 객실 바닥아래에 위치하고 있기 때문에 정해진 시간 내에 검사를 마쳐야 하는 현장여건상 실효성 있는 검사가 이루어지지 않고 있다. 북미에서는 교통부(DOT)로부터 인정을 받

은 검사원이 CNG버스 운송사업체에 고용되어 1년 주기로 자동차 정기검사를 실시하고 있고, 3년 주기로 자동차 정기검사와 함께 CNG용기에 대해서도 정기검사를 실시하고 있다. 반면에 유럽에서는 자동차전문검사기관인 TÜV(민간검사기관) 등에서 6개월 주기로 자동차 정기검사를 실시하고 있고, 3년 주기로 CNG용기에 대한 육안검사를 실시하고 있다.

따라서 국내에서도 해외 선진국의 사례에서와 같이 자동차 전문검사기관인 국토해양부산하의 교통안전공단이나 국토해양부가 지정하는 정비사업자가 자동차관리법에서 정한 주기마다 정기검사를 실시하되, 특별히 정기검사주기에 맞추어 3년마다 CNG용기에 대한 정기검사를 실시할 수 있도록 관련법의 개정이 필요하게 되었다. 이와 같은 검토의견에 따라 자동차관리법 35조의8(내압용기의 재검사)에서 비사업용 승용자동차는 4년, 그 밖의 자동차의 경우에는 3년마다 내압용기 재검사를 실시하도록 반영(2011.5.24일 공포)하였다.

(2) CNG자동차의 일상점검 제도

여객자동차운수사업법시행규칙 제44조 관련 <별표 4>(운송사업자 및 운수종사자의 준수사항)에서는 운송사업자의 준수사항으로 “정비가 불량한 사업용 자동차를 운행하지 아니 하도록 할 것”이라고 규정하고 있다[11]. 또한 2007년 12월에 발생한 사고와 2008년 8월과 9월에 발생한 사고는 운송사업자의 일상점검이 CNG버스의 안전관리에 얼마나 중요한가를 새삼 일깨워준 사고였다. 구미 선진국에서도 CNG버스의 일상점검이 생활화되어 있어서 일일점검이 안된 버스는 운행하지 못하도록 하고 있다.

따라서 자동차의 특성상 움직이는 탈것이고, 끊임 없이 진동과 충격에 노출되기 때문에 수시로 점검하는 것만이 연료장치에서 가스 누출과 화재로부터 CNG자동차를 안전하게 유지할 수 있는 방법이다. 국내에서도 여객자동차운수사업법시행규칙 제44조 관련 <별표 4>(운송사업자 및 운수종사자의 준수사항)의 자동차 일상점검에 관한 준수사항을 개정하여 연료장치의 손상 및 가스 누출여부를 반드시 점검하도록 법을 개정할 필요가 있게 되어 여객자동차운수사업법시행규칙 제44조 <별표 4>(운송사업자 및 운수종사자의 준수사항)에서 천연가스를 연료로 사용하는 운송사업자는 자동차의 차령이 5년 이하인 경우에는 3개월마다 1회 이상, 차령이 5년을 초과하는 경우에는 2개월마다 1회 이상 내압용기 및 연료계통의 손상, 부식 및 가스 누출 등에 대하여 점검하도록 개정(2012.8.2일 공포)되었다.

(3) CNG자동차 종사자(검사원 및 정비원 등)의 교육 훈련제도

CNG자동차 검사원은 자동차검사대행자나 지정 정비사업자가 기술인력을 선임할 때 자동차관리법시행규칙 제92조 관련 <별표 19>(자동차검사 기술인력 교육기준)에서 정한 자동차 관련법령 등의 교육을 35시간 이상 이수하여야 한다. CNG자동차의 경우, 용기를 포함한 연료장치는 자동차관리법에 의해 최초 장착검사를 받았기 때문에 검사업무를 수행하는 검사원은 고압가스안전관리법도 숙지할 필요가 있다.

따라서 앞으로는 고압가스법령을 자동차관리법시행규칙 제92조 <별표 19>(자동차검사 기술인력 교육기준)의 교육과목에 포함하여 교육을 실시하는 것이 바람직하다고 생각한다. 이 사안은 국토해양부에서 검토 중에 있으며, 향후 자동차관리법시행규칙 <별표 19>(자동차검사 기술인력 교육기준) 개정 시에는 고압가스법령이 교육내용에 추가될 것으로 예상된다.

(4) CNG버스 운송사업체의 안전관리자 선임제도

자동차관리법시행규칙 제62조 관련 <별표 9>의 제2호(비고4. 기술인력)에서 규정한 정비책임자를 포함한 정비요원은 운송사업체 내에서 자체정비를 실시하는 주요 인력이지만 국가기술자격법에서 정한 자동차 정비관련 자격증만 소지하고 있다. 그러나 CNG버스 운송사업체의 체계적인 안전관리를 위해서는 자동차 정비자격 외에도 고압가스안전관리법에서 정한 안전관리자가 선임되어야 하고, 안전관리자의 자격을 갖추기 위해서는 고압가스안전관리법 시행규칙 <별표 31>에서 정한 특별교육(고압가스사용자동차 정비원)을 이수하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이 사안은 여객자동차운수사업법시행규칙 제44조 <별표 4>(운송사업자 및 운수종사자의 준수사항)에서 운송사업자는 「국가기술자격법시행규칙」 제35조에 따른 가스기능사 이상의 국가기술자격을 가진 사람 또는 「도시가스사업법시행규칙」 제50조 제1항에 따른 특별교육을 이수한 사람으로 하여금 내압용기 및 연료계통을 점검하도록 개정(2012.8.2일 공포)되었다.

2.2. CNG충전소 관련 제도 및 시설 개선 검토

2.2.1. 안전관리규정 검토

CNG충전소의 안전관리규정 표준모델은 없으며, 일반고압가스충전소의 안전관리규정을 준용하여 사용하고 있는데, CNG충전소에 맞는 표준모델을 개발하여 적용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 왜냐하면 현재 CNG자동차에 대한 정기점검은 2년 1회, 누출점검은 충전 시 마다로 규정되어 있는데 반해, 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제20조

(공급자의 의무)에서는 수요자(자동차사용자)가 요청할 때마다 점검을 실시하도록 개정(2008.7.18)되었다.

따라서 LPG사용 자동차와 형평성을 맞추고, 점검의 실효성을 확보하기 위해서는 CNG자동차의 정기점검 주기를 1년 1회로 단축하고, 대신에 가스 누출점검은 가스충전 시 마다 실시하던 것을 LPG사용 자동차와 동일하게 수요자(자동차 사용자)가 요청할 때마다 실시하는 하는 것으로 개정하는 방안이 합리적이라고 판단되어 「도시가스사업법시행규칙」 제31조 관련 <별표 8의 2>가 제정(2010.7.28)되었다. 또한 CNG충전소 안전관리규정은 이미 한국가스안전공사에서 검토 중에 있기 때문에 조만간 표준모델이 제정될 것으로 예상된다.

2.2.2. 압축기 윤활유의 전이 문제

압축기에서 전이되는 오일을 제거하기 위해서는 필터가 가스를 응축시키는 역할을 하기 때문에 오일이 잘 제거될 수 있도록 압축기 후단의 토출가스온도를 외기온도의 +10℃ 이하로 유지되도록 설계기준을 제정하고, 토출가스온도를 측정할 수 있도록 세부기준을 개정할 필요가 있다. 또한 압축기 3, 4단 전단에 오일제거용 필터를 추가하고, 우선순위 판넬 후단에도 오일제거용 필터를 추가 설치함으로써 오일의 전이를 차단할 수 있을 것이다.

한편, 겨울철의 외기온도가 영하 10~15℃로 내려갈 경우에 오일의 점성이 높아져서 엔진 시동 시에 전자밸브의 개도 시간이 지연되고, 연료 인젝터가 고착화될 가능성이 있으므로 압축기 오일의 유동점을 현재 사용 중인 -15℃보다 낮은 -37.5℃까지 점성이 유지되는 오일을 사용하도록 오일 특성기준(SAE 10W-40 기준)을 마련할 필요가 있다고 판단된다. 이 사안은 압축장치의 출구측이나 우선순위 판넬 전·후단 그리고 충전기 전단에 오일을 제거할 수 있는 필터를 추가 설치하고, 동절기용 압축기 오일의 유동점은 -18℃ 이하인 것을 사용하도록 KGS FP651(고정식 압축도시가스자동차 충전의 시설·기술·검사 기준)에 반영(2010.4.29일 개정)되었다[12].

2.3. 안전장치(안전밸브) 성능

2.3.1. 온도감응식 압력방출장치

온도감응식 압력방출장치(thermal type pressure relief device)는 글리세린, 에틸렌글리콜 같은 비점이 낮은 액체를 유리관에 봉입하여 온도 상승에 따라 액체가 팽창함으로써 압력방출장치가 작동하는 방식과 납 등의 용융합금이 유로를 폐쇄하고 있다가 외부온도가 상승함에 따라 압력방출장치를 개도하는 방식이 있다. 현재 국내에서는 전자의 압력방출장치가 쓰이

고 있는데, 화재 시 응답속도가 빠른 반면에 압력방출 장치에 이물질 등이 유입되었을 때 정상적인 기능을 유지하기 어렵다. 이와는 달리 용융합금형태의 압력방출장치는 대용량 저장용기에 적합하지만 반응속도가 느린 것이 단점이다. 해외 사례조사 결과, 북미에서는 용융합금식으로 압축링이 내장된 압력방출장치를 쓰고 있고, 유럽의 경우에는 용기의 형태가 Type III, IV에서는 액체봉입형 온도감응식 압력방출장치를, 용기의 형태가 Type I, II에서는 용융합금형 온도감응식 압력방출장치를 각각 사용하고 있다.

김 등[13]의 성능시험에서는 압력방출장치 조립품을 최소 582.4℃에서 최대 598.7℃로 설정하고[14], 사용압력의 25%인 약 5.2 MPa로 가압한 결과, 액체봉입형 온도감응식 압력방출장치의 평균 작동시간은 1분 36초로 나타났고, 용융합금형 온도감응식 압력방출장치의 평균작동시간은 2분 33초가 소요됨을 확인하였다. 이 둘 사이에는 약 1분 정도의 반응속도 차이를 보였다. 이상의 실태조사와 실험결과를 통해서 확인된 결과는 CNG 용기의 압력방출장치의 모델은 온도감응식 압력방출장치가 한국 실정에 적합하고, CNG 용기의 재질에 따라 Type I, II에서는 압축링이 내장된 용융합금형 압력방출장치를, 그리고 Type III, IV에서는 액체봉입형 온도감응식 압력방출장치가 안전관리에 적합하다는 결론에 도달하였다[13].

2.3.2. 압력감응식 압력방출장치

압력감응식(pressure type) 압력방출장치(pressure relief device, PRD)는 동, 니켈 등의 박판을 사용하여 설정된 압력범위에서 박판이 파열하여 용기내부의 압력을 해소하도록 설계되어 있다. 현행 고압가스안전관리법에서 규정하고 있는 안전밸브 작동압력은 CNG 자동차의 충전압력을 20.7 MPa로 기준할 때 내압시험압력은 34.5 MPa이고, 안전밸브는 내압시험압력의 0.8배인 27.6 MPa에서 작동하도록 되어 있다. 그러나 이 압력은 CNG자동차를 충전하는 중에도 발생할 수 있는 압력으로, 오작동을 일으킬 우려가 있다. CGA 1.1[15]에서 규정하고 있는 안전밸브의 작동압력은 34.16 MPa(20.7 MPa×1.5×1.1배) 이하로, 실제 충전 및 운행조건과 부합된다.

따라서 압력감응식 압력방출장치의 작동압력은 고압가스안전관리법을 적용하기보다는 CGA 1.1 규격을 적용하는 것이 보다 현실적이라고 하겠다. 실제 실험[13]에서는 파열판을 -45℃와 135℃ 온도조건에서 2시간 간격으로 변경하면서 194시간 동안 가속 열충격 시험을 실시하고, -40℃ 액조 내에서 2시간 동안 안정화한 후 제작자 지정 사용압력의 10% 이하(1.0 MPa)와 제작자 지정 사용압력의 최소한 100%(21.0 MPa) 사이

에서 총 100사이클을 반복하였다. 이와 같은 실험을 거친 후 건전한 파열판을 다시 파열될 때까지 가압했을 때 파열판은 파열압력 약 31.6~32.7 MPa 사이에서 모두 파열되었다. 이 실험을 통해 확인된 사실은 가속 열충격시험을 거친 파열판이라 할지라도 파열압력에서는 가속 열충격시험을 거치지 않은 파열판과 크게 차이가 없음이 확인되었다.

2.3.3. 온도-압력 감응식(조합식) 방출장치

온도 및 압력 감응식 방출장치(combination type relief devices)는 2007년 12월 20일 경기도 구리시 인창동 북부간선도로 위에서 발생한 CNG버스 화재에서 압력방출장치가 작동하기 전에 용기가 파열됨에 따라 설치 여부를 검토하였다. 북미와 유럽 등 해외 선진국의 경우는 용융합금형(fusible plug type)의 압력방출장치를 용기밸브에 부착하고 있고, 특히 북미에서는 용기밸브에 압축링을 내장한 용융합금형 압력방출장치를 부착하여 외부화재에 따른 압력방출장치의 작동 신뢰성을 확보하고 있다. 또한 온도와 압력을 겸한 조합식 방출장치의 사용에 대한 조사에서 북미의 대부분의 전문가들 견해가 먼저 파열판(burst disc)의 신뢰성 확인이 선행되어야 한다는 견해가 많았다. 유럽의 CNG용기 밸브제조사에서도 2년 기간 동안 2,000회까지만 신뢰성을 보증할 수 있다는 견해를 피력하는 등 구미 전문가들의 공통된 견해는 충전 중에 발생하는 압력충격(pressure impact)과 운행 중에 발생하는 진동 등 조합식 방출장치의 현장적용성에 부정적인 의견이었다. 현재 조합식 방출장치를 적용하는 국가로는 아르헨티나, 브라질, 이란, 그리고 베네수엘라 등 주로 남미국가들이 CNG승용차 용기용 밸브의 방출장치로 사용하고 있다[16].

따라서 조합식 방출장치를 현장에 적용하는 사안은 현 단계에서는 시기상조라고 판단되며, 향후 조합식 방출장치의 적용 여부에 대한 현장적용시험을 실시하여 신뢰성을 확보한 후 화염시험을 거쳐 그 성능이 검증되었을 때 비로소 현장에 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

III. 결론 및 제언

2010년 8월 9일 해당동에서 발생한 CNG버스 사고를 계기로 정부에서는 관련법령 등 내압용기 안전관리 체계를 국토해양부로 일원화하였다. 또한 CNG자동차의 안전성 향상을 위해 안전관리 제도개선분야 5개 과제와 CNG자동차 시설개선분야 7개 과제, 그리고 CNG충전소 시설개선분야 2개 과제 등 총 14개의 과제를 마련하여 제안한 결과, 이 중에서 5개 과제가 제

도에 반영되었고, 4개 과제가 반영되지 않았으며, 현재 5개 과제가 진행 중에 있다. 이 중에서 CNG용기의 설치위치를 지붕 위로 변경했을 경우에는 용기 보호커버와 가스누출 경보시스템 문제를 동시에 해결할 수 있으므로, 반드시 정책반영이 필요하다고 생각된다. 또한 긴급차단밸브와 작동스위치는 CNG용기를 제외한 연료장치에서 가스가 누출되었을 때 긴급히 차단하여 2차 사고로 확대되는 것을 예방할 수 있으므로, 부착을 의무화하는 것이 바람직하다고 본다. 이 밖에도 압력방출배관의 경우 재질은 동관에서 스테인리스 배관으로 변경하고, 가스누출 시 반력을 고려하여 배관을 고정 및 지지한다면 CNG 자동차의 안전성을 좀 더 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이와 같은 시설개선 노력에도 불구하고, 근본적인 CNG자동차의 안전관리는 CNG용기 제조자의 무결함 용기 제작의지와 CNG용기 검사자의 안전관리 사명감, 그리고 CNG버스 운송 사업자의 대민 봉사의식이 조화될 때 비로소 완전한 실현을 할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 국토해양부, 자동차통계, (2011)
- [2] 한국천연가스차량협회, NGV 및 충전소 현황, (2012)
- [3] 한국가스안전공사, 2005-2010 가스사고연감, (2006-2011)
- [4] M. J. Lawday and D. Myers, Implementation of safety standards in the design and development of a lightweight CNG fuel storage system for buses, IANGV, (2008)
- [5] NFPA 52, CNG engine fuel systems, (2006)
- [6] Powertech, Known in-service failures of NGV cylinders(since 1976), (2011)
- [7] ANSI/IASNGV2-1998, American National Standard for basic requirements compressed natural gas vehicle (NGV) fuel containers, (1998)
- [8] KGS FU552, 압축도시가스용 자동차 연료장치의 시설·기술·검사기준, (2010)
- [9] 한국가스안전공사, CNG버스 시설개선 현장적용 시험 신뢰성 평가 연구, (2010)
- [10] 한국가스안전공사, 고압가스안전관리법, 도시가스사업법, (2012)
- [11] 국토해양부, 자동차관리법, 여객자동차운수사업법, (2012)
- [12] KGS FP651, 고정식 압축도시가스자동차 충전의 시설·기술·검사기준, (2010)
- [13] 김영섭, 김래현, 이재훈, "CNG 용기용밸브의 압력방출장치 성능에 관한 연구", *한국가스학회지*, **13**(4), 33-39, (2009)
- [14] ANSI/IAS PRD 1, American National Standard for pressure relief devices for natural gas vehicle (NGV) fuel containers, (1998-2007)
- [15] CGAS-1.1, Pressure relief device standards part 1_cylinders for compressed gases, Compressed Gas Association, 11th ed., (2003)
- [16] L. Erlandsson and C. Weaver, Safety of CNG buses in Delhi, Centre for Science and Environment, (2002)