

CNG 충전시설 내구안전성 및 소음도 연구

박용환 · 정용식

호서대학교 환경안전공학부

1. 서론

국내 대기오염 저감을 위해 추진되고 있는 저공해 CNG 버스의 보급을 위해서는 CNG 충전소 인프라의 구축이 필수적이다. CNG 충전소는 2000년에 처음 설치된 이후 지금까지 약 170여개소의 충전소가 구축되기는 하였지만, 위험한 고압가스시설이라고 하는 막연한 인식과 압축기의 소음 등으로 인해 여전히 민원의 대상이 되고 있다. CNG의 경우 공기보다 가벼워 소량 누출시라도 대기로의 확산이 매우 용이하므로 LPG에 비해 상대적으로 안전한 것으로 알려져 있다. 그러나 가스시설인 만큼 충전소 설치 초기에는 더욱 세심한 점검을 통하여 문제점의 조기 발견 및 적절한 관리운영 지침의 확립이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 CNG 버스 보급 초기에 설치된 충전시설에 대한 내구안전성 평가와 함께 운영실태를 조사하여 부품의 파손사례 정도를 분석하고 대응책을 마련코자 하였으며, 압축기 가동에 따른 소음도를 측정하여 작업환경 개선을 위한 적절한 방안을 제공함으로써 CNG 충전시설의 보급 활성화에 기여하고자 하였다^{1,3)}

2. 충전시설 개요

본 연구에서는 초기에 설치된 CNG 충전 시설인 A 충전소와 B 충전소 두 곳을 평가 대상으로 선정하였다. Table 1은 본 연구 대상인 두 충전시설의 주요 사양을 나타내고 있다. 충전시설은 크게 저압의 LNG 가스를 고압의 CNG 가스로 압축하는 압축기, 저장용기, 충전기 그리고 이들을 연결하는 배관망으로 구성되어 있다. Fig. 1은 CNG 충전시설의 주요 설비들에 대한 기본적 계통도이다.

Table 1 Layout of the CNG fuel station

Fuelling station	Compressor Capacity	Outlet pressure	Motor power	Cylinder capacity
A	652 Nm ³ /hr	253 kg/cm ²	125HP x 2	1300 ℓ
B	873 Nm ³ /hr	250 kg/cm ²	250HP	1336 ℓ

3. 내구안전성 분석

3.1 부품교체 및 파손사례

Table 2는 A, B 충전소의 최초 운영시기부터 약 2년 동안 설비상의 문제가 발생한 경우 및 주요 부품 파손 사례를 분석하여 표로 나타낸 것이다. Table 2에서 보는 바와 같이 A, B 충전소 모두 설치 후 운영 초기 약 1.5~2년 동안에는 가스 누출이나 부품의 파손 사례가 압축기에서 발생하였으며, 배관이나 저장시설에서는 별 문제가 없었던 것으로 조사되었다.

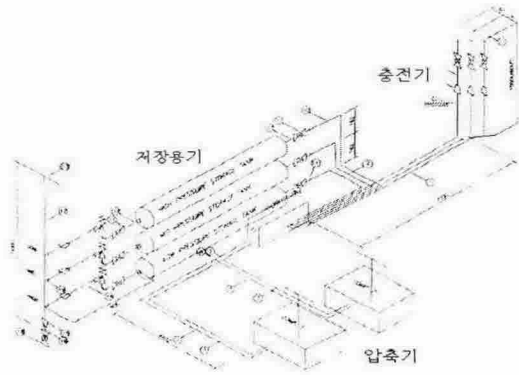


Fig. 1 Schematic diagram of CNG fuelling facilities

Table 2 A, B 충전소의 부품 파손 사례

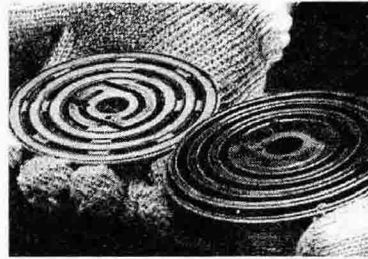
A 충전시설(1.5년)		B 충전시설(2년)	
부품교체/파손사례	건수	부품교체/파손사례	건수
압축기 1단 clearance 누기	2	pre-lub oil pump	1
clearance O-ring	1	토출 배관 O-ring	5
압축기 오일 누출	1	흡입, 토출 밸브 plate	4
압축기 안전변 작동	1	mechanical seal	1
압축기 토출밸브 플레이트	1	valve 및 valve 부품	4
압축기 열교환기 누기	3	토출 check valve/final filter	2
충전기 호스	1		
충전기 nozzle	1	Fill Panel 점검	2

두 충전시설의 경우 압축기 제조회사 및 모델이 서로 달라 가스누설이나 부품 파손 부위가 조금씩 다르기는 하였지만, 가스 누설이나 부품의 교체는 대부분 압축기내 O-링이나 밸브 부품의 파손 또는 마모로 인하여 발생된 것이 가장 많은 것으로 분석되었다. 이는 압축기 내에서의 고압 압축과정에서 응력의 증가와 함께 온도도 상승하기 때문으로 고온에서의 피로 현상으로 파손이 일어나고 있음을 추측하게 한다.

A 충전소의 경우 압축기에서의 O-링이나 밸브 플레이트의 파손 주기는 약 4~6 개월 간격으로 발생하고 있는 것으로 조사되었으며, B 충전소의 경우 약 5~6개월에 1회 꼴로 트러블이 발생하였던 것으로 나타났다. 결국 O-ring 및 밸브 플레이트 등 압축기의 핵심부품에 대한 내구성이 약 4~6개월 정도인 것으로 나타나, 갑작스런 파손으로 인한 가스누설을 방지하고 설비의 안정적 운용을 위해서는 적어도 핵심부품의 교체주기를 3~4개월 단위로 할 필요성이 있으며, 운영 효율을 증대시키기 위해서는 향후 부품의 내구성 증대를 위한 개선 노력이 아울러 필요한 것으로 분석되었다.



a) 압축기 1단 흡입, 토출밸브



b) 밸브 plate 및 suction seat

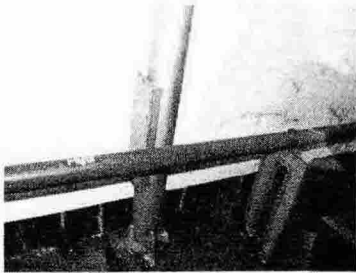
Fig. 2. 파손이 자주 발생하는 압축기 부품 예

한편, 차량에 가스를 주입하는 과정에서 가스주입이 완료된 후 차량 운전기사가 충전기를 빼지 않은 채로 출발하는 바람에 호스와 노즐이 손상을 입었던 경우가 있었으며, 시설 운전 초기의 일로 차량 운전기사의 CNG 충전 작업에 대한 이해 부족과 시설 운영자의 안전조치 미흡 때문에 발생한 것으로 분석되었다. 이러한 사고 방지를 위해 운전자에게 대한 안전교육 못지않게 연료 주입구가 열린 상태에서는 차량 시동이 걸리지 않게 하거나 충전기 노즐이 충전기상의 제 위치에 있지 않을 때에는 차량의 출발이 저지될 수 있도록 하는 등의 시스템적인 안전조치가 필요하다고 본다.

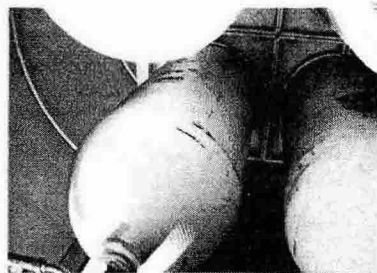
3.2 육안 및 누설검사

충전설비의 육안검사 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 A, B 충전시설 모두 저장용기나 배관라인의 도장 일부가 손상을 입어 약간의 녹이 발생하고 있는 것으로 조사되었으며, 즉시 재도장이 필요한 것으로 판단되었다. 설치초기 배관에 대한 액체침투탐상검사(PT)를 실시한 후 후처리를 전혀 하지 않아 도장의 일부가 박리되어 일어나고 있었고, 또한 그 도색된 자리 밑의 용접부에는 녹이 발생되고 있는 것으로 관찰되었다.

또한 압축기와 저장용기, 배관라인 및 충전기에 대한 가스검침기와 비눗물에 의한 누설검사 결과 두 충전소 모두 가스 누출이 전혀 관찰되지 않았다. 다만 충전 시 호스가 주변의 다른 시설물이나 도로 바닥과 접촉하여 이를 예방하기 위해서는 플라스틱 호스 보호관을 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.



a) 배관



b) 저장용기

Fig. 3 충전시설 배관 및 저장용기에 대한 육안검사

3.3 저장용기 비파괴검사

충전소 저장용기의 두께변화 및 결함성장 여부를 조사하기 위하여 KS D 0227에 따라 RT(Radiographic Testing) 비파괴검사를 실시하였다. RT(장비명: TEN 660, Amersham)는 방사성 동위원소인 Ir-192를 사용하여 저장용기 내부의 결함을 검사하는 방법으로 Fig. 4와 같이 용기에 하중이 가장 많이 걸리는 위치를 지정하여 검사를 수행하였다. A 충전소의 경우 3개, B 충전소의 경우 6개의 저장용기가 있었으며 각 용기에 대하여 1~2장씩을 촬영하여 총 13매를 촬영하였다.

검사 결과 두 충전소의 저장용기 모두 검사기준에 미달하는 살두께 감소 및 결함이 관찰되지 않아, 고압으로 반복 사용하였음에도 불구하고 여전히 안전한 것으로 판명되었다.

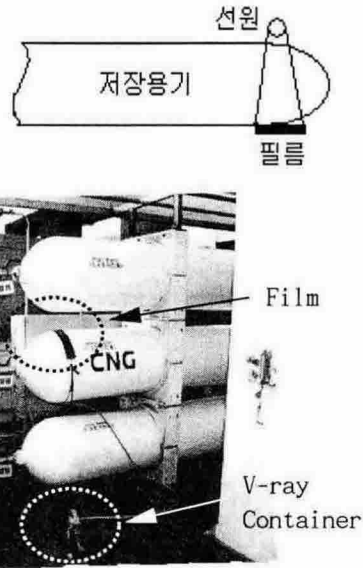


Fig. 4 방사선투과 검사 위치

4. 소음도 평가

CNG 압축기 가동 시의 소음은 가스폭발 위험성과 함께 가장 우려가 되는 민원의 대상이다. 이에 따라 충전소 내부 및 주변에 대한 환경소음을 측정하였다. 소음 측정 위치는 방호벽 내부(압축 및 저장 설비)와 방호벽 외부(충전기, 사무실 및 방호벽으로부터 일정 거리)의 두 구역으로 구분하였다. 시험 환경은 최악의 조건을 설정하기 위하여 각 충전소에서 작동되는 압축기 전량이 완전 가동되었을 때를 기준으로 측정하였다.

Table 3은 150cm 높이에서의 각 충전소에 대한 소음 측정 위치 및 소음도를 나타내며 Fig. 5에서 Fig. 8까지는 소음측정 결과를 나타내고 있다.

Table 3 각 충전시설의 소음 측정 위치 및 소음 레벨(측정높이 150cm)

A 충전소	소음도(dB)	B 충전소	소음도(dB)
A1(방호벽 내부 중앙)	87	B1(방호벽 내부 북쪽)	74
A2(방호벽 내부 북쪽)	82	B2(방호벽 내부 남쪽)	73
A3(방호벽 내부 남쪽)	86	B3(방호벽 내부 서쪽)	77
A4(방호벽 내부 서쪽)	83	B4(방호벽 내부 동쪽)	79
A5(방호벽 내부 동쪽)	84	B5(방호벽 외부 1m)	73
A6(방호벽 외부 1m)	74	B6(방호벽 외부 5m)	71
A7(방호벽 외부 30m)	63	B7(방호벽 외부 10m)	70
A8(방호벽 외부 60m)	59	B8(방호벽 외부 20m)	69
A9(방호벽 외부 90m)	57	B9(충전기)	71
A10(충전기)	76	B10(사무실 내부)	53
A11(사무실 외부)	70		
A11(사무실 내부)	56		

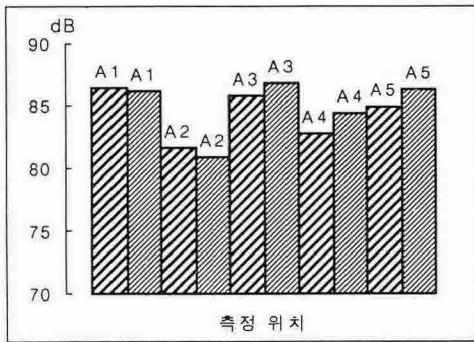


Fig. 5 A-충전시설 내부 위치별 소음 (▨ 높이 150cm, ▩ 높이 80cm)

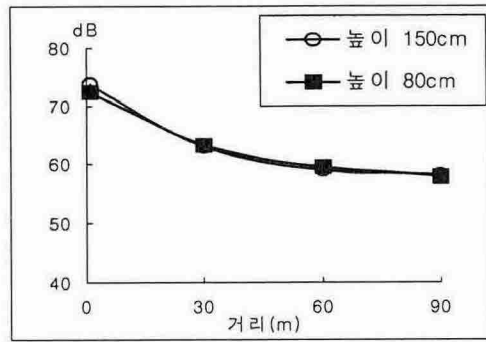


Fig. 6 A-방호벽 외부 거리별 소음 변화 (○ 높이 150cm, ■ 높이 80cm)

A 충전소의 방호벽 내에서 압축기 정지 중의 소음도는 약 53dB이었는데, 압축기 가동 시에는 측정위치에 따라 약 83~87dB을 기록하였다. 측정 높이에 따른 차이는 거의 없거나 2dB 미만인 것으로 나타났다. 방호벽 외부 작업장에서의 소음도는 충전기 부근에서 약 76dB, 이보다 더 떨어진 사무실 외부에서는 약 70dB, 사무실 내부에서는 약 56dB을 나타내어 작업소음기준(10m 거리에서 75dB)을 1dB 정도 벗어난 것으로 나타났다. 이는 측정시의 기후 및 시간대, 기기의 측정오차를 고려할 때, 완전히 기준을 벗어난 것이라고는 할 수는 없지만 야간작업 등을 고려할 때 보완이 필요하다고 판단되었다. 방호벽 외부 거리에 따른 소음도 측정에서는 Fig. 6에서와 같이 방호벽 외부 1m 거리에서는 74dB로 비교적 높게 나타났으나 방호벽에서 거리가 멀어질수록 크게 감소하여 방호벽 외부 90m 거리에서는 약 58dB로 나타났다. 이는 주거지역 주간소음기준 55dB을 상향하는 것이어서 인근에 주거지역이 들어 설 경우 압축기 가동으로 인한 소음을 차단하기 위한 방음벽 설치 등 적극적인 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

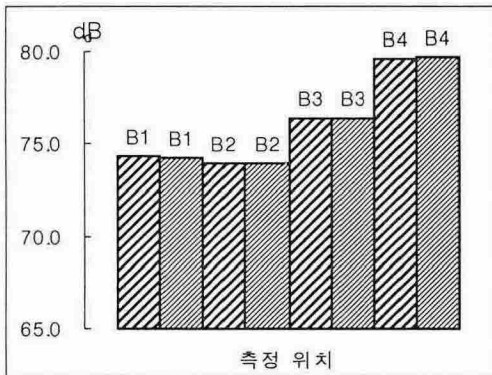


Fig. 7 B-충전시설 내부 위치별 소음 (▨ 높이 150cm, ▩ 높이 80cm)

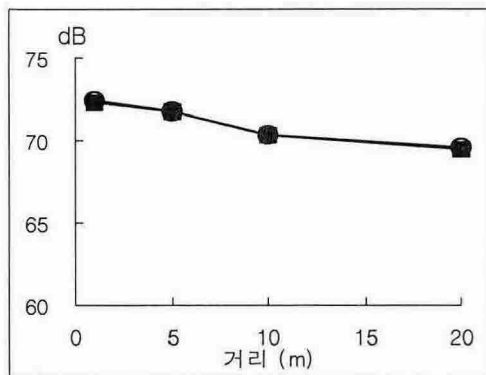


Fig. 8 B-충전시설 외부 거리별 소음 (○ 높이 150cm, ■ 높이 80cm)

Fig. 7에서 B 충전시설 방호벽 내 압축기 주변에서의 소음도는 73~79dB로 A 충전소에 비해 최대 10dB 정도 작은 것으로 관찰되었다. 이것은 압축기 대수가 A 충전소에 비해 1대 적을 뿐만 아니라 제조사가 달라 압축기의 성능에 따라 소음도의 차이가 있을 수 있기 때문으로 추정되었다. Fig. 8은 방호벽 외부로부터 거리에 따른 소음값 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 6과 비교해 볼 때 방호벽 외부 1m 지점에서의 소음도는 거의 비슷함에도 불구하고 거리 증가에 따라 소음도가 별로 감소하지 않는 것으로 나타났다. 이는 방호벽에서 거리가 멀어질수록 압축기의 소음보다는 공영주차장 내에서 시동을 켜 놓고 있는 정차 버스 등에 의한 엔진소음과 주변 버스정류소에서의 버스 소음이 더 큰 영향을 주기 때문으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 CNG 버스 보급 초기에 설치된 2개소의 충전시설에 대하여 약 3년이 경과한 후의 충전시설의 내구안전성에 대한 점검과 작업환경소음 평가를 실시하였으며, 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 배관 및 저장용기의 누설이나 균열 성장, 벽두께 감소 등 충전시설의 안전성에 직접 영향을 미치는 경우는 발생하지 않았으며, 다만 외부 도장이 취급 소홀로 벗겨졌거나, 용접부 후처리 불량으로 박리가 일어나 이에 대한 신속한 조치가 요망되었다.

(2) 압축기 부품의 파손은 부품의 피로 내구성 부족으로 추정되었는바, 조기 파손 부품에 대한 성능 개선이 이루어 질 때까지는 압축기에 대하여 약 3~4개월 단위의 정기적인 성능 점검 및 부품 교환이 뒤따라야 할 것으로 분석되었다.

(3) 압축기로 인한 환경소음은 국내외 기준치를 약간 상회하거나 근접해 있어 최근 생활소음 기준치의 강화 추세에 비추어 이에 따른 민원을 사전에 방지하기 위해서는 이중 방음벽의 구축 또는 압축기의 저소음화 노력이 지속적으로 필요하다고 본다.

(4) 차량운전자에 대한 안전교육 강화와 모든 CNG 차량에 대해 주유구를 개방 한 채 차량 시동 시 경보음과 함께 시동 자체가 불가능하도록 본질적인 안전 대책이 필요하였다.

참고문헌

- 1) 이수경, 최중운, "CNG 충전소의 누출 확산에 대한 위험성 평가," 한국가스학회지, 4권, 3호, 2000.
- 2) 김대수 외 2명, " 사고사례 분석을 위한 LPG 자동차 충전소의 위험요인 도출," 산업안전학회 춘계학술논문발표회 논문집, 1997.
- 3) ISO 15500-1:2000 Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 1: General requirements and definitions