

이동식 LNG 야드트랙터 충전 기준 개발 연구

†류영돈 · 유철희 · 이동원 · 구본득

한국가스안전공사

(2018년 11월 5일 접수, 2018년 12월 6일 수정, 2018년 12월 7일 채택)

A Study on Development of Mobile LNG Yard Tractor Refueling Standards

†Young-don Ryou · Chul-hee Yu · Bon-deuk Koo · Dong-won Lee

Korea Gas Safety Corporation

(Received November 5, 2018; Revised December 6, 2018; Accepted December 7, 2018)

요 약

정부에서는 미세먼지 저감대책의 일환으로 항만에서 운행하는 트랙터(야드트랙터, YT)의 연료를 디젤에서 LNG로 전환하는 사업을 추진중에 있다. 그런데, 야드트랙터의 보유대수가 적은 항만의 경우에는 BOG (Boil off gas) 발생 문제 등으로 인해 고정식 충전소를 설치하여 LNG를 YT에 공급하는 것이 곤란하다. 따라서, 이에 대한 대안으로 소규모의 이동식 LNG YT 충전소 설치 기준 마련이 필요하다.

본 연구에서는 이동식 LNG YT 충전소의 국내 도입을 위해 국내외 이동식 LNG 충전사례 및 충전 기준 조사, LNG 사고 사례 등을 조사하고, 사고 원인에 따른 위험경감 방안을 제시하였다. 또한, 제시된 위험 경감 방안을 토대로 도시가스사업법 시행규칙 개정(안)을 제시하였다. 제시한 이동식 LNG YT 충전 기준은 보호시설과의 안전거리 유지, 허가된 충전장소 이외의 장소에서 충전이 불가하도록 하는 인터록 장치 설치, 생체인식을 통한 신원확인 시스템 설치, 충전 전 탱크로리와 견인차량 분리 및 바퀴 고정상태 확인 등 사고예방을 위한 안전조치, 액화산방지조치, 충전 전 · 중 · 후의 안전조치 기준 등이다. 본 연구에서 제시한 안전기준은 향후 이동식 LNG 자동차 충전 기준 마련시 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract - As part of measures to reduce fine dust, the government is promoting a project to convert the fuel of Yard Tractors(YT, tractors operated at ports), from diesel to LNG (Liquefied Natural Gas). While a port having a small number of yard tractors, it is not proper to construct a stationary LNG fueling station and supply LNG to YT due to a problem of BOG (Boil off gas) generation. Therefore, it is necessary to make a regulation and a standard on mobile LNG YT refueling station installation and inspection as an alternative.

In this study, we have investigated domestic and foreign mobile LNG refueling cases and refueling standards, including the USA and Europe. In addition, we have suggested the risk reduction method according to the cause after investigation of the cause of LNG accidents. And last, based on the proposed risk reduction measures, we have proposed an amendment to the Regulation of the Urban Gas Business Law in Korea.

The proposed mobile LNG YT refueling amendment of the Regulation includes ; maintenance of the safety distance from the protection facility, installation of an interlock device to prevent refueling in places other than the authorized place, installation of the identification system through biometrics, separation of the tank lorry and tow vehicle before refueling, checking the wheel fixed status of tank lorry before refueling, construction of the impounding area, safety measures before, during and after refueling, etc. The safety standards proposed in this study could be used as a reference in establishing standards for mobile LNG vehicle refueling in the near future.

Key words : LNG refuel, mobile LNG fueling station, yard tractor, BOG(boil off gas)

†Corresponding author:rydon@kgs.or.kr

I. 서론

국내에서 도시가스충전사업을 하기 위해서는 시·도지사의 허가를 받아야 하며, 허가된 지역에서만 충전을 하여야 한다. 도시가스사업법에 따른 자동차 충전소의 종류는 4개가 있으며, 모두 특정 지역을 벗어날 수 없도록 디스펜서를 지상에 고정하도록 규정하고 있다. 탱크로리를 이용한 선박충전 사업소의 경우에도 특정지역의 허가된 지역에서만 충전을 하도록 규정하고 있다.

현재, 항만에서 사용하는 트랙터(야드트랙터, YT)에 LNG를 충전하고자 하는 경우에는 고정식 LNG 자동차 충전소를 설치하여 충전을 하도록 하고 있다[1]. 그런데, 야드트랙터 보유대수가 적은 항만의 터미널에서는 고정식 LNG 충전소를 설치하는 경우 BOG(Boil off gas)가 발생하여 연료손실이 발생하고 경제성이 없다[2]. 따라서, 이에 대한 대안으로 소규모의 이동식 LNG 야드트랙터 충전소 설치기준 마련이 필요하다.

본 연구에서는 이동식 LNG 야드트랙터 충전소의 국내 도입을 위해 국내·외 이동식 LNG 충전기준 및 현황, 사고사례 등을 조사하고, 사고원인에 따른 위험경감 방안을 제시하였다. 또한, 제시된 위험경감 방안을 토대로 도시가스사업법 시행규칙 개정(안)을 제시하였다.

II. 국내·외 이동식 LNG 충전 사례 조사

2.1. 국내 이동식 LNG 충전 기준 및 사례

현재 국내의 천연가스 충전기준은 4개의 자동차 충전기준과 1개의 선박 충전기준이 있다. 4개의 자동차 충전 기준은 모두 충전기(디스펜서)를 지상에 고정 설치하여 사용하도록 하고 있는 고정식 기준이다. 반면 선박충전의 경우에는 탱크로리를 이용하여 선박에 LNG를 충전할 수 있는 이동식 충전기준이다[1,2].

국내 이동식 LNG 선박 충전 규정은 2011년 11월 도시가스사업법 시행규칙 개정(지식경제부령 제201호)으로 마련되었다. 동 규정은 LNG를 연료로 사용



Fig. 1. Mobile LNG Refueling by Tank-lorry[1]

하는 선박에 LNG를 충전하기 위해 개정되었으며, 충전방식은 탱크로리의 압력을 높여 선박에 설치된 저장탱크에 LNG를 공급하는 방식이다. 동 규정에 따라 국내에서는 2013년 아시아 최초의 LNG 연료 선박인 “에코누리호”에 LNG를 공급(Fig. 1. 참고)하였다. 이후, 국내 최초 LNG 추진 상선(석회석 운반선)인 “일신 아이리스호”에 LNG를 공급(Fig. 2 참고)하여 동해항에서 광양항까지 운항하고 있다.

2.2. 국외의 이동식 LNG 충전기준 및 사례

2.2.1 미국

미국은 이동식 LNG 충전소를 설치할 때 NFPA 52(Vehicular Gaseous Fuel Systems code) 기준을 따르고 있으며, 고정식 충전소, 패키지형 충전소 또는 이동식 충전소를 설치하여 자동차에 LNG를 충전하고 있다. 동 기준은 LNG 충전소뿐만 아니라 CNG 충전소에 대한 기준도 규정하고 있다. NFPA



Fig. 2. An Example of Mobile LNG Bunkering[3]



Fig. 3. Mobile LNG Fueling Station in USA[5]



Fig. 4. A Potable LNG Fueling Station in China



Fig. 5. Fixed LNG Fueling Station in the UK



Fig. 6. Mobile LNG Fueling Station in Germany

52에 따라 미국은 이동식 LNG 충전소를 설치하는 경우에도 저장탱크 주변에 방류독을 설치하고 있으며, 가스검지기, 화염검지기, 자동충전 제어장치, 계량기, 펌프, 소화기 등을 설치하고 있다(Fig. 3. 참고)[4].

아울러, 미국에서는 항만의 보안을 위해 생체인식을 통한 신원확인 방법을 사용하도록 하고 있다. 2016년 8월 발간된 TWIC final rule에 따라 생체 측정방법으로 대체 생체 인식(alternative biometric)이 사용될 수 있으며, 그 방법은 지문판독이 어려운 직원의 경우 유용하게 사용될 수 있다고 규정하고 있다.

2.2.2 중국

중국의 경우 탱크로리를 이용하여 LNG를 자동차에 직접 충전하는 기준은 없고, Fig. 4와 같이 패키지형 충전소를 고정 설치하여 사용하는 기준이 있다.

2.2.3 독일, 영국 등 유럽

영국에서는 Fig. 5와 같이 ISO 탱크 컨테이너를

지상 구조물에 고정설치하여 LNG 자동차 충전소로 사용하고 있다. ISO 탱크컨테이너의 재료는 내조와 외조 모두 스테인리스강으로 되어 있어 내조에서 LNG가 누출되는 경우 외조에서 액을 수용할 수 있다. 본 충전소는 승인을 받아 카드 키(card key)를 보유한 운전자가 하차하여 키를 카드리더기에 접촉하고, 충전기를 차량에 연결한 후, 충전보턴을 누른 상태에서만 충전이 가능하도록 되어 있다.

독일에서는 배출가스를 줄이고 이동성을 향상시킬 수 있는 대체연료로 LNG를 지원하고 있으며, Fig. 6과 같은 ISO 탱크 컨테이너를 이용한 이동식 LNG 충전소를 운송회사에 설치하여 사용하고 있다.

유럽에서 LNG 충전소와 관련한 기준은 ISO 16924 (Natural gas fuelling station-LNG stations for fuelling vehicles)를 따르고 있으며, 동 기준은 이동식 충전소 기준을 포함하고 있다[6].

III. 사고원인 별 위험경감방안

3.1. LNG 충전 관련 사고사례

LNG 충전소의 안전사고 사례는 국내는 물론 전 세계적으로 쉽게 찾아 보기 어렵다. 1970년대 이후 8건의 해상 누출사고가 있었지만 화재로 이어지지 않아 LNG로 인한 대형 안전사고사례는 없다. 1944년 미국 클리블랜드에서 발생한 LNG 저장탱크 사고는 2차대전 중 재료부족으로 내조의 재료를 3.5% 니켈강을 사용함에 따라 취성 파괴로 발생한 대형 사고이며, 이 사고 이후로 충분한 안전 기준이 만들어졌다. LNG의 도로운송 관련하여 유럽과 미국에서 20~30건의 사고가 발생하였으나, 대부분이 자동차 충돌사고이다[7,8].

3.2. 사고 원인별 위험경감방안

LNG 충전소와 관련한 주요 사고이력이 없으므로 LPG 탱크로리 등을 이용한 이송 또는 하역작업 중에 발생한 주요사고 및 발생가능한 사고를 살펴보고 사고원인에 따른 위험감소방안을 Table 1과 같이 간략히 도출하였다.

LNG 누출의 원인은 호스의 장기간 사용으로 인한 파손, 취성파괴, 호스접속 불량, 밸브정렬불량, 탱크 벤트어러, 과충전 방지 불량, 정비불량, 피로 파괴, 지지불량, 과압안전장치 고장이 있고, 외부요인으로는 지진, 홍수, 태풍, 교통사고, 브레이크 파열, 차량충돌 등이 있다[7,9]

LNG 탱크로리를 이용한 이동충전시스템에서 이러한 누출 및 화재 발생을 방지 또는 위험을 경감하기 위해서는 Table 1에서 보는 바와 같이 방류독 설치,

Table 1. Failure Modes and Effects Analysis[7]

| 사고위험 | 원인 | 결과 | 현재 안전조치 | 위험감소방안 도출 |
|--------------------------|--|--|--|---|
| 누출 (탱크) | 1. 내부 요인 ○내조/외조 부식, 용접 결합, 취성파괴 : 내조, 외조 누출 | ○단열조치손상 ○LNG 증발량 증가 ○가스누출 | 1. 적합한 재질 사용 2. 검사, 점검 철저 3. 가스 검지기 설치 | ○방류독 설치 (스테인리스강) |
| | ○과압, 안전밸브 작동불량 : 동결, 스프링 고장 | ○안전밸브미작동 ○동체파열로 인한 가스대량 방출 | | ○방류독 설치 (스테인리스강) |
| | ○과충전 : 액면계 고장, 작업자실수, 태만 | ○가스 방출 ○가스 대량 누출 | | ○과충전방지조치 |
| | ○ 밸브 오작작 : 드레인밸브, 방출 밸브 | ○가스 대량 누출 | | ○가스검지기 설치 ○충전원교육 철저 |
| | ○Support failure : 설계, 제조 불량 | ○시설 파손 | 1. 제조 및 설치검사 실시 | ○방류독 설치 (스테인리스강) |
| | ○ 탱크로리 오발진 : 호스 연결된 상태에서 탱크로리 출발 ○ 바퀴 고정 불량, 브레이크 고장 | ○배관 / 호스 등 충전시설 파손 ○가스대량 누출 | | ○충전 전 견인차량 분리후 확실하게 고정 ○바퀴가 움직이지 못하도록 고정 |
| | 2. 외부 요인 ○충격(차량) : 야드트랙터, 이동식 하역장비, 대형트럭의 충돌 | ○시설 파손, ○가스 대량 누출 | 1. 차량 방지턱 2. 차량 보호대 3. 경계표시 등 설치 | ○충돌방지봉 등 설치 ○충전장소 지정 ○차량진출입로 표시 ○충전장소 5M 이내 다른장비 접근 금지 ○지정장소 이외 주차금지 |
| ○지진, 지반침하, 외부화재(주변화재) | | 1. 충전장소주변 인화성/발화성 물질 취급금지 | ○지반침하 방지 조치 ○소화기 비치 ○화염검지기 설치 | |
| 누출 (운전예러) | 1. 충전 예러 ○충전작업 미숙 ○미승인 작업자의 충전 | ○호스연결 예러 가스누출 ○저장탱크 벤트예러 ○과충전(자동차 연료탱크) ○호스 misplaced | 1. 충전원 교육 | ○충전원 신원확인 시스템 구축 |
| | 2. 야드트랙터오발진 ○충전호스 파열 ○충전차량 용기 파손 | ○배관/호스 등 충전시설 파손 ○가스대량 누출 | 1. ESD 설치 | ○운전자 교육 철저 ○충전중 안전수칙 표시 ○엔진정지 및 정차상태 확인 |
| | 3. 정비 예러 ○밸브잠금 부적절 ○부적절 부속품 사용 | ○가스 대량 누출 ○취성파괴, 가스누출 | | ○정비절차 준수 검사품 사용 |
| 누출 (기타예러) | 1.시설 작동 실패 ○안전 밸브 오작동 ○긴급차단밸브 오작동 ○검지경보기 오작동 | ○가스 대량 누출 | | ○안전관리 규정에 따른 수시검사 실시 |
| | 2. 미허가지역에서 충전 ○차량 충돌, 작동미숙, 충전예러, 충전중 탱크로리 및 트랙터이동 | ○충전시설 파손 ○대량가스누출 | | ○허가지역이외에서 충전불가 토록 인터록설치 ○충전원 신원확인 시스템 구축 |
| 화재/폭발 | 1. 화기/용접 작업시 불티 비산에 의한 점화 | ○작업자 부주의로 대형 화재 유발 | 1. 가스 검지기 설치 2. 작업전 점지 실시 | ○충전중 작업자 외 출입금지 ○화염검지기 설치 |
| | 2. 충전작업 중 발생한 정전기에 의한 점화 | ○정전기 방전에 의한 화재 발생 | | ○정전기제거장치 설치 ○화염검지기 설치 |
| | 3. 충전소 경계를 벗어난 대규모 액체가스 누출 | ○하수/우수관을 통해 누출가스 확산/화재발생 | | ○방류독설치 |

과충전방지조치 설치, 가스검지기/화염검지기 설치, 충전 전 견인차량 분리 후 확실하게 고정, 충돌방지봉 설치, 충전장소 지정, 충전원 신원확인 시스템 설치, 허가지역이외의 장소에서는 충전이 불가하도록 하는 인터록 시스템 설치, 충전중 작업자 외 출입금지, 정전기 제거조치 설치, 소화기 비치 등의 조치가 필요하다.

IV. 이동식 LNG 충전 안전 기준 도출

4.1. 도시가스사업법 시행규칙 개정(안) 도출

국내의 도시가스충전사업의 종류는 충전대상별 및 사용(또는 충전)하는 가스의 형상별로 규정하고 있다. 즉, 충전대상에 따라 4개의 자동차 충전사업과 1개의 선박충전사업으로 구분하고, 충전하는 가스의 형상에 따라 압축도시가스 충전사업 3개와 액화도시가스 충전사업 2개로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 항만에서 필요로 하는 이동식 LNG 야드 트랙터의 충전 기준을 도출하였으며, 이에 따른 도시가스 충전사업의 정의를 신설하였다. 즉, 도시가스사업법 시행규칙 제2조제3항제4호의 “액화도시가스 자동차 충전사업”을 “고정식 액화도시가스 자동차 충전사업”으로 하고, 제6호를 다음과 같이 신설하는 개정(안)을 제시하였다.

6. 이동식 액화도시가스 야드트랙터 충전사업 : 차량에 고정된 탱크를 이용하여 액화도시가스를 항만법 시행령 별표 4제8호에 따른 야드트랙터에 충전하는 사업

4.2. 이동식 LNG 충전 시설 및 기술기준(안) 도출

도시가스 충전사업에 대한 시설 및 기술 기준은 도시가스사업법 시행규칙 별표 6의2에서 규정하고 있다. 따라서, 본 연구에서 신규로 도출하는 “이동식 액화도시가스 야드트랙터 충전사업”에 대한 시설 및 기술 기준(안)의 내용은 동 별표 제6호로 신설하고, 기존 제6호의 내용(그 밖의 도시가스 충전시설에 대하여는 산업통상자원부장관이 고시하는 바에 따른 것)은 제7호로 하도록 개정(안)을 제시하였다. 2.2에서 조사한 국외의 이동식 LNG 충전기준 및 사례, 3.2에 따른 사고 원인별 위험경감방안에 따라 “이동식 액화도시가스 야드트랙터 충전사업”의 시설 및 기술 기준(안)을 도출하였으며, 개정(안)의 주요내용은 다음과 같다.

가) 충전소는 항만법 제2조에 따른 항만구역 중

- 육상구역에 설치
- 나) 충전장소와 사업소 경계와는 10m 이상 유지
- 다) 처리설비 및 충전설비로부터 사업소 경계와의 안전거리 30m 이상 유지
- 라) 처리설비 및 충전설비의 외면과 화기와의 안전거리 유지
- 마) 충전소내 충전차량의 설치대수는 1대로 제한
- 바) 부압파괴방지조치, 과충전방지조치, 과압안전장치, 긴급차단장치 설치
- 사) 가스설비 및 배관설비의 적정 성능 및 재료
- 아) 화염 및 가스누출 검지장치 설치
- 자) 모니터링시설, 통신시설, 전기방폭설비, 소화기, 조명등 등 필요설비 설치
- 차) 역류방지장치, 오발진으로 인한 충전기 및 충전호스 파손 방지장치, 충전설비 충돌방지 조치
- 카) 허가된 충전장소 이외의 장소에서는 충전이 불가하도록 인터록 장치 설치
- 타) 충전원의 생체인식을 통한 신원확인 시스템 설치
- 파) 액화산방지조치, 배관온도상승 방지조치
- 하) 정전기 제거설비 및 충전소 경계표지
- 거) 탱크로리 고정목 설치, 충전 전 탱크로리와 견인차량 분리 및 바퀴 고정상태 확인
- 너) 충전 중 5m이내 다른 장비의 접근 금지
- 더) 충전 중 충전작업 관련자 이외의 자의 출입 금지

V. 결론

정부에서는 미세먼지 저감대책의 일환으로 항만에서 운행하는 트랙터의 연료를 디젤에서 LNG로 전환하는 사업을 추진중에 있다. 현재 야드트랙터에 LNG를 공급하기 위해서는 고정식 LNG 자동차 충전소를 설치하여야 한다. 그런데 야드트랙터 보유대수가 적은 항만의 경우에는 BOG 발생 문제 등으로 고정식 충전소를 사용하는 것이 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 이동식 LNG 야드트랙터 충전소 국내도입을 위해 국내·외 이동식 LNG 충전기준 및 현황, 사고사례 등을 조사하고, 사고원인에 따른 위험경감 방안을 도출하였다. 또한, 제시된 위험경감 방안을 토대로 도시가스사업법 시행규칙 개정(안)을 제시하였다.

제시한 이동식 LNG 야드트랙터 충전 기준은 보호시설과의 안전거리 유지, 허가된 충전장소 이외의 장소에서 충전이 불가하도록 하는 인터록 장치 설치, 생체인식을 통한 신원확인 시스템 설치, 충전 전 탱크로리와 견인차량 분리 및 바퀴 고정상태 확

인 등 사고예방을 위한 안전조치, 액화산방지조치, 충전 전·중·후의 안전조치 기준 등이다.

본 연구에서 제시한 지정된 장소 이외 지역에서의 충전불가 인터록 장치, 생체인식을 통한 신원확인 시스템, 이충전 모니터링 시스템, 액화산 방지조치 등을 설치하는 경우 탱크로리를 이용한 이동식 LNG 야드트랙터 충전 사업의 안전이 확보될 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 향후 이동식 LNG 야드트랙터 충전 상세기준(코드)을 마련하는데 본 연구에서 제시한 기준을 근거로 자세한 시설 및 기술 기준을 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러, 이동식 LNG 야드트랙터 충전소를 자동차 충전소 등에 확대 적용하는 경우 본 연구에서 제시한 안전기준이 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부, 한국가스공사 등 5개 기관의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] KGS, City Gas Business Law & Regulation, (2014)
- [2] Young-Don Ryou, et al, "A Study on Safety Standards of Mobile LNG Fuelling Station", KIFSE Annual Fall Conference, (2018)
- [3] MOTIE. LNG Fueled Merchant Ship Departure, Press Releases (2017)
- [4] NFPA 52, Vehicular Natural Gas Fuel Systems Code (2016)
- [5] INOXCVA, LNG_Mobile Fuelling Stations.
- [6] ISO 16924, Natural gas fuelling stations-LNG stations for fuelling vehicles, (2016)
- [7] KGS, "A Study on Development of Package type LNG Filling System Standard"(2011)
- [8] "An Initial Qualitative Discussion on Safety Considerations for LNG Use in Transportation", Working Document of the NPC Future Transportation Fuels Study (2012)
- [9] Nathan Siu, Stephen Herring, et al, "Interim Qualitative Risk Assessment for an LNG Refueling Station and Review of Relevant Safety Issues", INEEL (1997)