

LPG 충전소 저장탱크의 설치방법에 따른 경제성 분석에 관한 연구

허용정* · 임주연** · 염무열*** · †임사환

한국가스안전공사 방재연구실, *한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과,
연세대학교 화공생명 · 에너지공학과, *강원대학교 소방방재학과
(2015년 11월 3일 접수, 2016년 1월 14일 수정, 2016년 1월 15일 채택)

A Study on the Economic Analysis for Installation Method of Storage Tank in LPG Filling Station

Yong-Jeong Huh* · Ju-Yeon Lim** · Moo-Youl Youm*** · †Sa-Hwan Leem

Disaster Prevention Research Division Gas Safety Corporation, Chungbuk 27733, Korea

*School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education,
Chungnam 31253, Korea

**Chemical and Energy System Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

***Fire and protection Engineering, Kangwon National University, Kangwon 25913, Korea

(Received November 3, 2015; Revised January 14, 2016; Accepted January 15, 2016)

요약

환경 친화적 자동차는 우리나라 정부가 추구하는 저탄소 녹색 성장 전략의 상징이 되어 왔다. 최근 정책 추세에 맞추어, 새로운 LPG 충전소가 많이 지어지고 있다. 하지만 대규모 가스 저장시설에서의 안전사고는 사회적으로 막대한 인명 피해와 재산 피해를 야기시켜 왔다. 이 논문에서는, LPG 충전소에서 안전사고를 사전에 예방하기 위하여 설치방법에 따라 경제적 분석을 실시하였다. 분석결과, 지하 저장소는 그 유지관리 및 효율적인 토지이용 면에서 긍정적인 것으로 나타났다.

Abstract - "Eco-friendly" automobile has been a symbol of the Low Carbon, Green Growth strategy that Korea government decided to pursue. In line with the recent policy trend, a number of new LPG stations are being constructed. However, communities where mass storage are installed have been suffered from risk of serious accidents. In this work, economic analyses for different installation methods has been performed to prevent accidents in LPG filling station. The review shows that the underground storage is beneficial for the maintenance and the effective land use.

Key words : LPG filling station, Economic analysis, Installation method, Eco-friendly automobile

I. 서 론

가스는 녹색성장이라는 새로운 패러다임과 최근 10월 국내 LPG 가격이 700원대로 '뚝' 떨어져 연료간 경쟁력에서 월등한 우위를 기록하면서 수요확대가 기대되며, 전 세계적으로 LPG 차량 대수가 매년

10% 내외로 증가하고 있다.[1,2]

우리나라는 사용제한 규제에 의해 2010년 이후 매년 LPG 차량 등록대수가 감소하고 있으나, 휘발유·경유 자동차 보다 친환경 연료로 인정받게 됨에 따라 관련 산업 활성화 및 환경보호 측면에서 LPG 차 사용제한 완화 요구가 급속하게 늘어나고 있다.[2]

Table 1은 최근 5년 동안의 LPG 수요 현황이다.[3]

국내에서는 가스의 사용과 함께 안전사고도 계속하여 발생하고 있으며, 대단위 저장시설에서의 사고

†Corresponding author:gentle@kgs.or.kr

Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

Table 1. Consumption of fuel gas
(Units : 1000ton)

Year		2014	2013	2012	2011	2010
L P G	Home	1,560	1,719	2,177	2,155	2,020
	Transport	3,781	4,010	4,126	4,249	4,468
	Others	2,495	2,407	1,996	2,232	2,669

Table 2. Type by LPG accident (Units : case)

Section	2014	2013	2012	2011	2010
Explosion	38	48	39	40	32
Fire	19	27	26	28	26
Leakage	3	4	6	4	3
CO toxicosis	4	-	2	2	-
Oxygen deficiency	-	-	1	-	1

는 사회적 피해가 심각하게 나타났다.

특히, 1998년도 전북 익산에서 발생한 LPG충전 시설에서의 사고는 막대한 재산상 손실과 인명피해를 유발하였다.[4]

Table 2는 최근 5년 동안의 국내 LPG에 의한 사고 현황이다.

2014년 LPG 사고를 형태별로 분류하면 폭발 48.7%, 화재 26.3%의 점유율을 보이고 있다.[3]

LPG 충전소에서 발생한 사고로 노삼규(1999) 등은 저장탱크에서 발생하는 BLEVE 현상에 따른 피해에 대하여 연구하였고, 배성진(1999) 등은 화재와 폭발에 관한 정량적 영향 평가에 대한 연구, 이수경(1999) 등은 화재와 폭발에 대한 피해영향분석을 연구하였다.[5-7]

Table 3은 국내 LPG 충전시설에 설치되어 있는 저장탱크의 설치형태이다.

국내 LPG 충전시설에 설치되어 있는 저장탱크는 2466기이며, 10년 전에 비하여 2배정도 증가하였다. 또한, 자동차 충전소에 설치되어 있는 저장탱크가 전체 65%정도에 해당된다. 또한, 20ton이 1,018기, 30ton이 921기로 전체 설치수의 80%정도를 차지하고 있다.[3]

본 연구에서는 가스누출 위험성과 시공에 따른

Table 3. Construction status of LPG station
(Units : ea)

Section	Storage tank(Construction type)		
	Above ground	Underground	
		Burial	Containment
Total	219	2,161	86
Vessel	53	52	3
Vehicle	39	1,587	22
Vessel and vehicle	83	497	61
Others	44	25	0

경제성, 시설유지를 위한 점검 용이성 등을 각각의 형태에 따라 비교 평가하였다.

II. 이 론

현재 국내의 LPG 충전시설에서 운용되고 있는 저장탱크는 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 제 3조제1항[액화석유가스 충전사업 중 자동차연료용 용기에 액화석유가스를 충전하여 공급하는 사업의 시설·기술·검사·정밀안전진단 및 안전성평가 기준]의 1.3.2 “저장탱크”란 액화석유가스를 저장하기 위하여 지상 또는 지하에 고정 설치된 탱크로 규정되어 있다. 또한, Fig. 1에서처럼, 기계실의 위치에 따라 지상 저장탱크 지상 기계실형, 지하 매물 저장탱크 지상 기계실형, 지하 격납 저장탱크 지하 기계실형과 지하 격납 저장탱크 지상 기계실형으로 나눌 수 있다[8].

LPG 충전시설은 저장설비, 충전설비 및 탱크로리 이입 충전장소는 그 외면으로부터 보호시설과 안전거리유지, 시군 또는 구의 강화기준고시에 적합하도록 규정하고 있다. 다만, 저장설비를 지하에 설치하거나 지하에 설치된 저장설비 안에 액중 펌프를 설치하는 경우에는 저장능력별 사업소경계와의 거리에 0.7을 곱한 거리 이상으로 할 수 있도록 규정되어 있다.

KGS Code FP332에 의하면 사업소경계와의 이격거리는 아래의 Table 4를 참고하여 상황에 맞는 안전거리를 유지하여야 한다[9].

또한, 저장설비(지상저장탱크와 지하저장탱크)와 충전설비는 그 외면으로부터 사업소 경계와 안전거리를 유지하여야 하고, 탱크로리 이입충전장소는 정차위치 중심으로부터 사업소경계까지 24m 이상 유지하여야 한다.

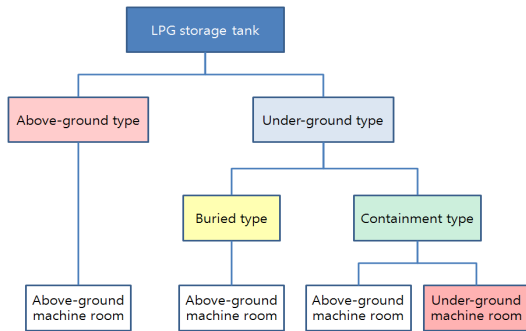


Fig. 1. The state of the installation for LPG storage tank.

Table 4. Storage facilities vs. distance

Storage capacity	Distance from a place of business
10ton more than	24m
10ton over 20ton more than	27m
20ton over 30ton more than	30m
30ton over 40ton more than	33m
40ton over 200ton more than	36m
200ton over	39m

저장설비 및 충전설비의 외면에서 보호시설(사업소 안에 있는 보호시설 및 전용공업지역 안에 있는 보호시설은 제외한다)까지 유지해야하는 거리는 Table 5에서 규정한 거리 이상으로 하여야 한다. 다만, 저장설비를 지하에 설치하는 경우에는 1중 보호시설과 2중 보호시설에 대하여 Table 5에서 정한 거리의 2분의 1 이상을 유지할 수 있다.

국내에서 운영하고 있는 저장탱크의 설치형태는 크게 지상저장탱크, 지하저장탱크로 구분된다.

각각의 저장탱크의 형태와 그 형태에 따른 장·단점은 다음과 같다.

지상 저장탱크: 저장탱크를 지상에 설치하는 방식이며, 일반적으로 충전시설 보다는 산업체의 저장 시설에 많이 시공되어 있다. Fig. 2와 같은 지상 저장탱크는 지면상의 콘크리트 기초위에 고정·설치하는 것으로 외부 화재로부터 안전성에 노출되어 있

Table 5. Distance from prevention facility

Storage capacity	Class 1 prevention facility	Class 2 prevention facility
10ton more than	17m	12m
10ton over 20ton more than	21m	14m
20ton over 30ton more than	24m	16m
30ton over 40ton more than	27m	18m
40ton over	30m	20m

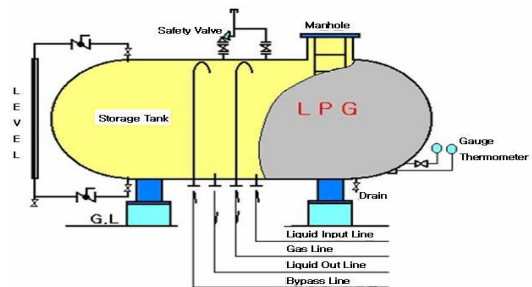


Fig. 2. Above-ground type storage tank.

으며, 다음과 같은 장·단점이 있다.

(1)장점

- (가) 완전 노출하여 시공하므로 가스누출, 점 검 등이 용이하다.
- (나) 지하 매몰식보다 토목시공비가 적게 든다.
- (다) 지하 매몰식보다 노출관계로 탱크도색이나 관리에서 용이하다.

(2)단점

- (가) 외부에 노출되어 있는 관계로 민원 및 안전 문제가 있다.
- (나) 주위 화재나 외부공격으로부터 대응하기 힘들다.
- (다) 토목시공비는 적게 들지만 대도시의 지가 상승으로 토지의 이용률 저하를 초래한다.

지하 매몰 저장탱크: 저장탱크를 지하 탱크실 내부에 설치하고 탱크와 콘크리트 벽면은 마른 모래로 채우는 방법으로 시공한다. Fig. 3과 같은 지하 매몰

저장탱크는 기계실을 지상에 설치하는 타입과 지하에 설치하는 타입이 있으며, 지하에 기계실을 설치한 경우에는 탱크의 노즐구조는 지상 저장탱크와 비슷하다. 저장탱크를 지하에 설치하는 경우 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하며, 그 구조는 아래와 같다.[10]

(1)장점

- (가) 지하 매물 관계로 토지 이용률이 높아진다.
- (나) 외부의 물리적인 충격이나 자체 화재에도 안전하다.
- (다) 안전거리가 지상형에 비하여 30% 정도 절감되어 택지구입비가 적게 든다.

(2)단점

- (가) 지상형에 비해 부식이나 가스누출 등 점검이 용이하지 않다.
- (나) 저장탱크실의 방수처리 등 기술적인 사항이 요구된다.
- (다) 토목시공비의 증가로 건설비가 증가한다.

기존 지하 격납 저장탱크(지하기계실) : 기존 지하 격납 저장탱크는 지상 저장탱크와 동일한 구조의 탱크를 지하 격납 공간에 설치하고 격납 공간에는 모래를 채우지 않는 구조이다. 또한 안전관리자가 쉽게 출입할 수 있도록 지하 기계실에 계단을 설치하고, 가스압축기와 펌프 등을 지하 기계실에 설치하는 것이 일반적이다. 따라서 가스 누설시 지하 격납 공간에 가스가 체류하여 Flash fire가 발생하였다.

신형 지하 격납 저장탱크(지상기계실) : 신형 지하 격납 저장탱크는 지하 매물 저장탱크와 동일한 구조의 탱크를 지하 격납 공간에 설치하고 격납 공간에는 모래를 채우지 않는 구조이다. 또한 안전관리자가 쉽게 출입할 수 있도록 지하 격납 공간에 계

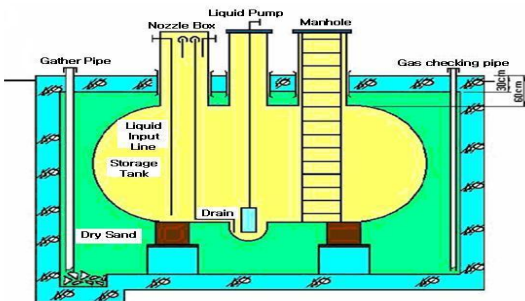


Fig. 3. Buried underground storage tank.

단을 설치한 구조이다. 이는 지상 저장탱크의 화재에 대한 위험성을 배제하고, 지하 매물 저장탱크의 점검 용이성과 부식 및 방식에 대한 위험성과 경제성을 향상시킨 구조이다.[11,12]

III. 결 과

3.1. 안전점검 및 검사비용 분석

저장탱크에 대한 점검 용이성 평가는 LPG 저장탱크 관련 국내 기준 현황의 저장탱크 설치위치에 따른 장·단점을 살펴보면, 지상 저장탱크는 지상에 노출 시공되어 쉽고 빠르게 안전점검을 실시하여 유지관리 방면으로 우수하다.

하지만 지하 매물 저장탱크는 지하에 매물 설치되어 있어 안전점검을 법에 의하여 매물 후 15년 후에 외피검사가 가능하다. 따라서 안전점검을 위해서 저장탱크는 지상에 설치하거나 매물설치하지 않아야 한다.

또한, 저장탱크 검사비용에 대한 견적서를 비교하면 Table 6과 같다.

3.2. 시공용이성 및 비용 분석

LPG 충전시설에서 운영하는 저장탱크는 법에 의하여 지상 저장탱크와 지하 매물 저장탱크로 분류되는데, 현장의 시공 현황을 살펴보면 Table 7과 같다.

지하 매물 저장탱크는 부식에 대한 보호조치를 법에 의하여 시공하도록 규정하고 있어 부식방지를 위하여 저장탱크 외부에 피복을 하고, 희생양극과 외부전원을 적용하고 있다. 또한, 배관에 대해서도 방식조치를 하여야 한다. 이를 위하여 방식에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 양극의 종류와 토양에 대한 연구도 진행되고 있다.[13-15]

지하 매물 저장탱크는 Table 7에서 보듯이 시공의 불편함과 경제적 부담이 있는 반면, 지상 저장탱크와 지하 격납 저장탱크는 시공편리성과 3배 정도의 경제적 이점이 있다.

Table 6. Storage tank checking time and inspection price

Inspection	Above ground type	Buried underground type	Underground containment type
Storage tank outside checking	Anytime (Free)	After 15 years (₩20million)	Anytime (Free)
Storage tank inside checking	After 5 years (₩2million)	After 5 years (₩2million)	After 5 years (₩2million)

Table 7. Installation and cost analysis

Section	Above ground type	Buried underground type	Underground containment type
Position testing	Necessary (₩5million)	Unnecessary (Free)	Unnecessary (Free)
Ready-mixed concrete	Unnecessary (₩4million)	Necessary (₩6million)	Necessary (₩6million)
Excavation work	Unnecessary (₩1million)	Necessary (₩10million)	Necessary (₩7million)
Cathodic protection	Unnecessary (Free)	Necessary (₩6million)	Unnecessary (Free)
Storage tank coating work	Unnecessary (Free)	Necessary (₩2million)	Unnecessary (Free)
Sand laying	Unnecessary (Free)	Necessary (₩5million)	Unnecessary (Free)

Table 8. Real estate and cost analysis

Section	Above ground type	Buried underground type	Underground containment type
Distance from storage tank	27m	18.9m	18.9m
Filling station minimum Area	2289.06㎡ (694 p'yǒng)	1121.64㎡ (340 p'yǒng)	1121.64㎡ (340 p'yǒng)

3.3. 토지이용률 분석

LPG 충전시설에서 이용하는 저장탱크는 법에 의하여 저장탱크와 사업소 경계와의 이격 거리를 규정하고 있다.

국내 가장 많이 시공되어 있는 20ton 저장탱크를 기준으로 평가하면 다음 식(1)로 계산할 수 있다.

$$A_{FS} = \pi \cdot L_{FS}^2 \quad (1)$$

여기서, A_{FS} 는 충전시설의 최소 필요면적(㎡)

L_{FS} 는 저장탱크의 외면에서 사업소 경계까지의 거리(m)

따라서, 식(1)을 LPG 저장탱크 관련 국내 기준 현황의 저장탱크 설치장소에 따른 법정 거리로 Table 4와 Table 5를 참고하여 계산하면 Table 8과 같다.

Table 8에서 보듯이 지상 저장탱크에 비하여 지하 매몰 저장탱크와 지하 격납 저장탱크는 토지 이용률이 지

상 저장탱크의 49%정도로 현격한 차이를 보이고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 가장 많이 설치되어 운용되고 있는 20ton 저장탱크를 대상으로 경제성 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 안전점검에 대한 평가결과 지상 저장탱크는 안전점검을 수시로 실시할 수 있어 매우 유용한 반면, 지하 매몰 저장탱크는 법에 의해 매몰한 이후 15년이 경과하여 검사를 실시하기까지는 전혀 안전점검을 실시하지 못한다. 따라서 본 논문에서 제시한 지하 격납 저장탱크는 지상 저장탱크와 같이 안전점검을 수시로 실시할 수 있어 지속적인 안전관리를 통한 유지가 가능하다.

2. 시공용이성에 대한 평가결과 지상 저장탱크는 지반검사를 실시하여 시공을 하는데 반하여, 지하 매몰 저장탱크와 지하 격납 저장탱크는 지반검사를 실시하지 않는다. 하지만 지하 매몰 저장탱크와 지하 격납 저장탱크는 굴착공사를 실시하는 단점이 있다. 하지만 본 논문에서 제시한 지하 격납 저장탱크는 지하 매몰 저장탱크에 비하여 시공이 편리하고, 방식 조치를 하지 않아 경제적 이익이 3배 정도 향상되는 효과가 있다.

3. 토지 이용률에 대한 평가결과 지상 저장탱크는 안전성 문제로 법정 안전거리를 이격하도록 규정되어 있어 토지를 효율적으로 이용하기 어려운 반면, 지하 매몰 저장탱크와 지하 격납 저장탱크는 법정 안전거리를 70% 줄일 수 있어 한정된 국토면적을 효율적으로 활용하는데 효과적으로 경제성이 있다. 실제 저장용량 20ton을 계산하면 지상 저장탱크에 비하여 지하 저장탱크는 토지 면적을 49%까지 절감 가능하다.

따라서 지하 격납 저장탱크는 외부화염에 의한 VCE와 BLEVE 등 폭발과 화재에 있어서 안전하며, 토지이용과 안전점검 등 경제적으로 효과가 가장 우수함을 알 수 있다.

이상의 결과는 LPG 충전소를 건축하는데 시공방법 제시와 경제적 비용절감효과에 기여할 것으로 판단한다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 한국기술교육대학교 연구제 파견연구비 지원에 의하여 연구되었음

사용기호

A_{FS} : minimal area of filling station[m²]
 L_{FS} : length to boundary from outside of storage tank[m]

REFERENCES

- [1] Energykorea, www.energykorea.co.kr, 2015.10.01
- [2] Energy-News, www.energy-news.co.kr, No. 1155, 2015.10.16
- [3] KGS, *2014 Gas Statistics*, KGS, Chungbuk, (2015)
- [4] KGS, *2014 Gas Accident Year Book*, Samji printing, Seoul, (2015)
- [5] Roh, S. K., Kim, T. H., and Ham, E. G., "A Study on Damage Effect from Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion(BLEVE) of LPG Charging Facility", *KIGAS*, 3(3), 45-50, (1999)
- [6] Bae, S. J., and Kim, B. J., "The Study on the Quantitative Analysis in LPG Tank's Fire and Explosion", *KIGAS*, 3(1), 21-26, (1999)
- [7] Lee, S. K., and Lee, C. W., "Consequence Analysis of the Fire & Explosion on the Flammable Liquid Handling Facility and LPG Station", *KIGAS*, 3(2), 77-84, (1999)
- [8] Lee, U. B., *Gas Professional Engineer*, Keon-Kiwon, Seoul, (2008)
- [9] KGS FP332, Facility/Technical/Inspection/Safety Diagnosis/Safety Assessment Code for Filling Cylinders of LP Gas Vehicles, KGS, Chungbuk, (2014)
- [10] Leem, S. H., and Huh, Y. J., "A Study on the Damage of Flame caused by the Vapor Cloud Explosion in LPG Filling Station", *J. of the KOSOS*, 25(3), 53-60, (2010)
- [11] Leem, S. H., and Huh, Y. J., "Innovative Installation Method for LPG Storage Tank Using TRIZ", *Int. J. Systematic Innovation*, 1(4), 27-34, (2011)
- [12] Leem, S. H., and Huh, Y. J., Paek, S. C., Lee, J. R., "A Study on the Optimal Installation Technology of LPG Storage Tank through Taguchi Method", *J. of the KOSOS*, 25(6), 98-102, (2010)
- [13] Lee, J. R., Leem, S. H., and Kim, S. O., "The Usability of Zinc Electrode using Wireless Measuring System of Electric Potential", *The 20th Anniversary of the Korean Society of Ocean Engineers, Annual Conference & International Workshop, Busan, Korea, November 16th-17th, 177-180, (2006)*
- [14] Lee, J. R., Kim, S. O., and Leem, S. H., "Long-term Field Test of Zn as Reference Electrode using Underground Gas Pipelines", *Marin Corrosion and Control, proceedings of 45th Forum on Engineering Science and Technology, Chinese Academy of Engineering& 3rd International Symposium on Marine Corrosion and Cotrol, Qingdao, China, June 14th-18th, 319-324, (2006)*
- [15] Lee, J. R., Leem, S. H., Choi, R. B., Kim, I. C., "Review to Changes of the Protection Criteria during 20 years to City-Gas Facilities", *The Corrosion Science Society of Korea, 2007 Fall Meeting Abstracts and Symposium on Protective Coating, Pohang, Korea, November 15th-16th, 166, (2007)*