

# 다구찌 기법을 통한 LPG 저장탱크 시공방법의 최적화에 관한 연구

임사환<sup>†</sup> · 허용정<sup>\*</sup> · 백승철<sup>\*</sup> · 이종락<sup>\*\*</sup>

한국기술교육대학교 기계공학과 · \*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

\*\*한국가스안전공사 가스안전교육원

(2010. 5. 6. 접수 / 2010. 11. 29. 채택)

## A Study on the Optimal Installation Technology of LPG Storage Tank through Taguchi Method

Sa-Hwan Leem<sup>†</sup> · Yong-Jeong Huh<sup>\*</sup> · Seung-Cheol Paek<sup>\*</sup> · Jong-Rark Lee<sup>\*\*</sup>

School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

<sup>\*</sup>School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

<sup>\*\*</sup>Institute of Gas Technology Training, Korea Gas Safety Corporation

(Received May 6, 2010 / Accepted November 29, 2010)

**Abstract** : LPG (Liquefied Petroleum Gas) vehicles in metropolitan area are being applied to improve air quality and have been proven effective for the reduction of air pollutant. In addition, the demand of gas as an eco-friendly energy source has been increased. With the LPG filling station is also increasing every year. These gas stations are required to install the securest storage tank because of possibility of causing huge loss of life and property. Therefore, in this paper, underground containment type is proposed as installation of the LPG storage tank using Taguchi method, which is considered to be more safe, economical, efficient, easy checking and simple construction method than any other. If leakage, economics, real estate utilization rate, safety, easy to check, simple construct about above ground, buried underground and underground containment storage tank are analyzed by Taguchi method, real estate utilization rate, economic and safety in turn are improved. Therefore, the underground containment storage tank is a optimal installation technology.

**Key Words** : taguchi method, LPG storage tank, optimum, installation technology

### 1. 서론

녹색성장을 새로운 패러다임으로 삼고 있는 모든 국가에서 환경 친화적인 연료로서 LPG(Liquefied Petroleum Gas) 활용도가 증가하고 있으며, 대기오염을 줄이기 위해서 자동차 연료로서 가스의 사용이 빠르게 확산되고 있다<sup>1)</sup>. 미국, EU(유럽연합), 일본, 중국 등은 2000년도 이후부터 자동차의 이산화탄소 배출 허용기준과 연비기준을 크게 강화하고 있다<sup>2)</sup>. 이는 자동차 부문이 국가 에너지소비의 19.3%를 차지하고 있으며, 타 부문보다 감축 여력이 큰 편이기 때문이다<sup>3)</sup>. 독일의 경우 2004년 보급된 LPG 차량 수가 3만 여대, LPG 충전소 600여개에 불과했던 것이 2006년에는 각각 7만여대의

LPG 차량 및 1000여개의 충전소로 확장되었다<sup>4)</sup>.

Table 1은 최근 5년 동안의 가스연료의 소비현황이다. Table 1을 살펴보면 LPG가 운송용으로 13% 정도 증가하였음을 알 수 있다<sup>5)</sup>.

이처럼 가스의 수요가 증가하면서 가스로 인한 사고도 해마다 증가하고 있으며, 이와 함께 가스사

Table 1. Consumption of fuel gas (Units : 1,000ton)

Year	2008	2007	2006	2005	2004	
Total	36,383	35,060	31,668	30,847	29,029	
L N G	city gas	15,316	14,449	13,957	14,032	12,504
	Power	12,136	12,118	9,548	8,821	8,818
L P G	home	1,857	1,973	2,150	2,280	2,140
	transport	4,379	4,366	4,069	3,968	3,860
	other	2,695	2,153	1,949	1,745	1,707
energy consumption	239,757	234,065	231,516	229,600	220,797	

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
leemsahwan@kut.ac.kr

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

Section	2004	2005	2006	2007	2008
Explosion	58	67	75	80	47
Fire	34	39	48	64	49
Leakage	35	20	24	25	14
CO Toxicosis	2	6	4	2	2
Oxygen Deficiency	2	1	-	1	-

고도 지속적으로 발생하고 있다.

최근 5년 동안의 LPG 사고에 대한 현황은 Table 2와 같다<sup>6)</sup>.

Table 2를 살펴보면 대부분의 사고는 폭발과 화재로 인한 사고이며, 2008년도에는 전체 사고의 85.7% 정도를 점유하고 있음을 알 수 있다.

LPG 자동차는 충전소가 대도시 근교에서 운용되고 있으며, 1998년에 발생한 익산충전소(UVCE)와 부천충전소(BLEVE)는 LPG 충전소에서 발생한 대표적인 안전사고로서 인명피해와 막대한 재산손실을 초래하였다<sup>7)</sup>. 이러한 안전사고는 자동차 연료로서 가스의 수요가 급증하면서 LPG 충전소의 설치도 점진적으로 늘어나면서 발생한 것으로 지난 1998년도의 사고와 같은 안전사고가 발생하지 않도록 경계하여야 할 것이다.

국내 LPG충전시설에 설치되어 있는 저장탱크는 1788기이며, 20ton이 946기, 30ton이 465기로 전체 설치수의 80%정도를 차지하고 있다.

LPG 자동차 충전소에 대한 기존연구를 살펴보면, 박명섭 등<sup>8)</sup>은 저장시설에 대한 위험성 평가에 관한 연구를 실시하였으며, 그의 연구에 따르면 지상저장탱크의 경우 VCE(Vapor Cloud Explosion)와 외부 열원에 의한 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) 그리고 Pool fire에 의한 열영향(Thermal effect)이 가장 큰 피해 발생요인으로 밝혀졌다. 또한, FTA(Fault Tree Analysis) 방법을 이용한 빈도분석 결과 LPG 누출사고가 발생할 빈도(Frequency)는 약  $5.42 \times 10^{-2}/\text{yr}$  정도로 나타났으며, ETA(Event Tree Analysis) 결과 LPG 누출사고가 VCE 형태로 폭발사고로 발전될 수 있는 빈도는 약  $2.19 \times 10^{-2}/\text{yr}$  정도로 나타났다.

이진한 등<sup>9)</sup>의 연구에서 LPG 충전소가 법적 최소기준을 만족할 경우 BLEVE 발생빈도는 약  $2.4 \times 10^{-5}/\text{yr}$ 로 예측되었다. 이는 국내 1,000개의 충전소가 있다고 가정할 때 25년에 1회 꼴로 탱크로리 BLEVE 사고가 발생할 수 있음을 나타낸다.

이승림과 이영순<sup>10)</sup>은 지상식 LPG 저장탱크의 외

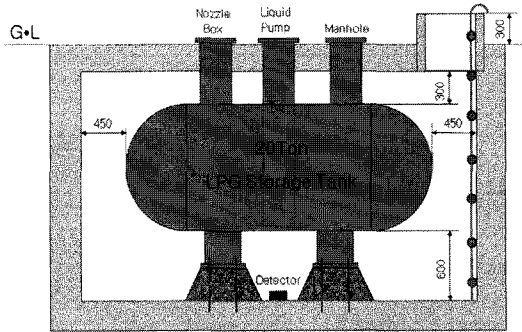


Fig. 1. Form of improved storage tank.

부화재에 의한 BLEVE 가능성 해석에 대하여 연구하였으며, 노삼규 등<sup>11)</sup>은 저장탱크에서 발생하는 BLEVE 현상에 따른 피해에 대하여 연구하였고, 배성진 등<sup>12)</sup>은 화재와 폭발에 관한 정량적 영향 평가에 대한 연구, 이수경 등<sup>13)</sup>은 화재와 폭발에 대한 피해영향분석을 연구, 조영도<sup>14)</sup>는 액화석유가스 충전소의 안전거리에 관한 연구를 하였다.

현행법에 의하면 저장탱크의 설치는 지상형 및 지하형으로 규정하고 있다<sup>15)</sup>. LPG 충전시설에 설치되어 있는 저장탱크의 65% 정도가 자동차 충전소에 설치되어 있으며, 대부분이 지하매몰형으로 설치되어 있어 저장탱크의 구조적 결함을 수시로 점검하기 어려운 실정이다<sup>16)</sup>. 따라서 지상형 저장탱크는 가스누출로 인한 VCE와 BLEVE를 유발할 수 있으며, 매몰형은 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하다<sup>17,18)</sup>.

이를 해결하기 위한 방안으로 최근 지상형과 지하매몰형의 위험성과 경제성에 대한 모순문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같은 지하격납형 저장탱크를 TRIZ(Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch) 기법을 활용하여 제안하였다<sup>19)</sup>.

따라서 본 연구에서는 지상형, 지하매몰형, 지하격납형에서 안전성과 경제성을 고려한 최적의 저장탱크를 시공하기 위하여 다구찌 기법을 활용하여 파악하였다<sup>20)</sup>.

## 2. 이론적 배경

다구찌 기법은 일본의 다구찌 겐이찌가 구현한 제품의 품질개선 기법이다. 알려진 다구찌 기법은 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 잡음(환경) 인자에 강건한 설계, 영어로 로부스트 설계(Robust Design)를 하는 것으로 알려 졌다. 다구찌는 품질

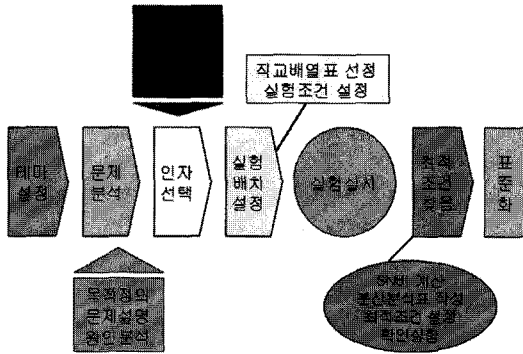


Fig. 2. System flow of Taguchi method.

정의를 제품이 출하된 후 사회에 주는 손실이라고 정의하였다. 손실은 기능편차에 의한 손실, 사용 비용에 의한 손실, 폐해 항목에 의한 손실로 크게 3 가지로 나눌 수 있다. 물건이 출하된 후 사회에 주는 세 종류의 손실을 줄이기 위한 대책이 다구찌 기법이다.

Fig. 2와 같은 다구찌 기법 적용 순서에 의해서 테마를 설정하고 문제분석을 위한 목적정의에 의한 인자를 저장탱크의 설치위치에 따른 누출가능성, 경제성, 토지이용률, 안전성, 점검편리성, 시공 용이성에 대하여 설정하였다.

### 2.1. 다구찌 해석방법

다구찌 기법은 실험과 설계의 최적조건을 결정하는 기준으로 특성치의 산포도가 가장 작은 조건을 선정하고 있다. 특성치의 산포도는 SN(signal to noise ratio)값에 의해 표현되며, SN값은 특성치의 성질에 따라 Table 3과 같이 정의되는 것이 일반적이다.

Table 3. Characteristic value

Character	Measure modulus	Property	Definition	Example
Dynamic	Measure	Activity	Adjustable case at signal's option	Recovery time for reman gas
		Passive	Not adjustable case	Charging limit of storage tank
Static	Measure	Smaller better	Smaller is better performance	Frequency for Safety valve
		Larger better	Larger is better performance	Strong, Safety
	Nominal the best	Attain one's Object	Standard product	
	Modulus	Smaller better	Smaller better	inferior rate
Larger better		Larger better	fancy rate	

다구찌 기법에서 계량치의 망대특성 SN비는 다음의 식으로 결정된다.

$$SN = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

위 식에서 SN 기준값이 크게 나타난 경우는 그때의 요인인자의 순서에 의해 가장 효과가 있다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구에서 지정된 6개의 요인에 대한 SN 기준값으로부터 저장탱크의 시공방법에 따른 효과를 간이 분석법을 통하여 고찰하였고, 각각의 요인들이 SN 특성값에 미치는 기여도를 계산하였다.

### 2.2. 요인과 직교배열표

다구찌 해석에 사용된 6개의 요인과 각 요인의 수준(level)은 설치장소를 지상형, 지하매몰형, 지하 격납형으로 하였고, 인자는 누출가능성, 경제성, 토지이용률, 안전성, 점검편리성, 시공용이성으로 각각 설정하였다. 이와 같이 다구찌 최적화 설계에서 6개의 요인인자를 2수준인자 1개와 3수준인자 5개를 사용하는 최적의 조건으로 직교배열표인 L18 (2<sup>1</sup>\*3<sup>5</sup>)을 사용하였다.

Table 4는 6개의 요인인자에 대하여 2수준인자 1개와 3수준인자 5개를 제시하였다<sup>21)</sup>.

완전요인법에 의하면 전체 실험회수는 486회를 실시하여야 하는데 Taguchi 기법을 사용하면 실험회수를 18회로 줄일 수 있다.

Table 5는 직교배열표에서 제시한 6개의 요인인자에 대한 직교배열표인 L18(21\*35)에 해당하는 실험조건 18개를 실험적 해석모델의 조합조건으로 나타내었다.

Table 4. Primary factor

S	Leak-age possibility (0.15)	Economic (0.15)	Real estate (0.25)	Safety (0.2)	Check-ing (0.1)	Construct (0.15)
1	1(A)	0.5(B)	1(A)	0.9(A)	0.5(B)	0.5(B)
2	1.75	1(C)	1.5(B)	1.2(B)	1(C)	1(C)
3	(B, C)	1.5(A)	2(C)	1.5(C)	1.5(A)	1.5(A)
W	Leak-age possibility (0.1)	Economic (0.2)	Real estate (0.3)	Safety (0.25)	Check-ing (0.05)	Construct (0.1)
1	1(A)	0.5(B)	1(A)	0.9(A)	0.5(B)	0.5(B)
2	1.75	1(C)	1.5(B)	1.2(B)	1(C)	1(C)
3	(B, C)	1.5(A)	2(C)	1.5(C)	1.5(A)	1.5(A)

\* S : Summer, W : Winter, A : Above-ground type, B : Buried underground type, C : Containment type

Table 5. The orthogonal arrays[L18(2<sup>4</sup>\*3<sup>5</sup>)]

Factor List	Leak-age possibility	Eco-nomic	Real estate	Safety	Checking	Construct
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2
5	1	2	2	2	3	3
6	1	2	3	3	1	1
7	1	3	1	2	1	3
8	1	3	2	3	2	1
9	1	3	3	1	3	2
10	2	1	1	3	3	2
11	2	1	2	1	1	3
12	2	1	3	2	2	1
13	2	2	1	2	3	1
14	2	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	2	3
16	2	3	1	3	2	3
17	2	3	2	1	3	1
18	2	3	3	2	1	2

### 3. 해석결과 및 고찰

LPG 충전소에 설치되는 저장탱크의 최적 시공을 위하여 지상형, 지하매몰형, 지하격납형에 대하여

Table 6. Signal to noise ratio[L18(2<sup>4</sup>\*3<sup>5</sup>)]

Order	R1	R2	SN ratio
1	0.8	0.78	-2.04955
2	1.1	1.09	0.78801
3	1.4	1.4	2.92256
4	0.975	0.98	-0.19775
5	1.275	1.29	2.1607
6	1.35	1.225	2.16423
7	1.175	1.14	1.26744
8	1.325	1.225	2.09016
9	1.4	1.355	2.77836
10	1.125	1.1875	1.25152
11	1.125	1.1675	1.18111
12	1.275	1.2525	2.03219
13	1.1	1.1275	0.93377
14	1.325	1.2875	2.31784
15	1.4	1.4175	2.97618
16	1.35	1.3625	2.64652
17	1.275	1.2675	2.08451
18	1.5	1.4275	3.30135

여 다구찌 기법에 의하여 미니탭 14(한글판)를 이용하여 분석하였다.

Table 6은 Table 5의 직교배열표에서 제시한 18개의 실험적 해석모델을 통하여 각각의 요인에 대한 SN비를 나타내고 있다.

Fig. 3의 신호 대 잡음비 주 효과를 살펴보면, C(토지이용률)이 가장 큰 영향을 나타내고 있으며, 그 다음으로 B(경제성)과 D(안전성)이 효과적인 것으로 분석되었다.

Table 5에서 제시한 SN비를 기준값으로 하여 저장탱크의 시공방법에 따른 요인인자의 영향과 순위를 간이 분석법을 이용하여 계산한 결과를 Table 7에서 제시하고 있다.

수준차이는 각 요인의 가장 큰 영향인자와 가장 작은 수의 차이를 나타낸 것이고, 순위는 영향력의 크기를 나타낸다.

Table 7의 다구찌 해석결과로부터 저장탱크의 시공방법에 따라 지상형, 지하매몰형, 지하격납형의 영향력은 토지이용률, 경제성, 안전성의 순으로 나타났다.

따라서 LPG 저장탱크를 최적시공방법은 지하격납형을 선택하는 것이 바람직하다는 것을 나타내고 있다.

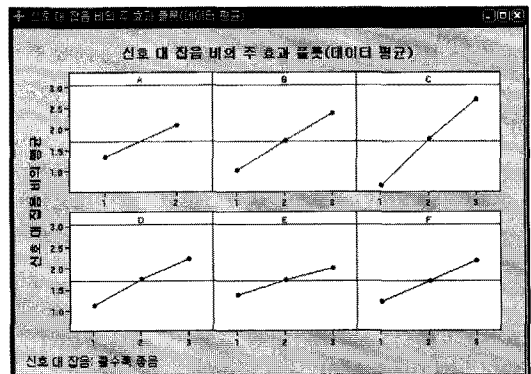


Fig. 3. Effect plot of signal vs noise ratio.

Table 7. Signal vs Noise ratio

Section	Ground above type	Underground buried type	Under ground containment type	Level	Ranking
Leakage	1.3249	2.0806		0.7556	5
Economic	1.0210	1.7258	2.3614	1.3404	2
Real estate	0.6420	1.7704	2.6958	2.0538	1
Safety	1.1288	1.7472	2.2321	1.1033	3
Checking	1.3637	1.7226	2.0219	0.6582	6
Construct	1.2092	1.7066	2.1924	0.983	4

#### 4. 결론

본 연구는 LPG충전소에 설치하는 지상형 저장탱크에서 발생하는 VCE와 BLEVE에 의한 피해를 최소화하고, 지하매몰형의 시공의 어려움, 경제적 부담과 점검 애로를 해소하기 위한 안전성과 경제성을 최적으로 증가시킬 수 있는 시공방법을 해석하였다.

최적화를 위해 고려한 5개의 요인인자와 3수준을 해석하기 위해서 모두 486번의 반복적 해석을 수행해야 하지만, 다구찌 실험적 설계해석법에서는 Table 5에서 제시한 것처럼 단지 18번의 해석을 통하여 저장탱크의 설치방법의 실효성을 위한 최적의 조합조건을 찾아낼 수 있었다.

저장탱크를 시공함에 있어서 지상저장탱크, 지하매몰저장탱크, 지하격납저장탱크에서 가장 큰 영향은 토지이용률에 따른 것으로 나타났다. 또한 경제성과 안전성에 대한 최적시공은 지하격납저장탱크로 나타났다.

감사의 글 : 이 논문은 2010년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원에 의하여 연구되었으며 관계자 분들께 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 강광규, "저공해차량의 균형보급방안 연구-LPG/CNG 차량을 중심으로", 한국환경정책평가연구원, 2002.
- 2) <http://www.keei.re.kr>
- 3) OECD, Integrating Environment and Economy, Progress in the 1990s, 1996.
- 4) So-Young Park, "German gas market trends - LPG gas increasing popularity of alternative fuels", The Gas Safety Journal, Vol. 35, March, pp. 77~80, 2009.
- 5) 국가통계포털-국내통계-광공업·에너지-에너지, <http://www.kosis.kr>
- 6) 한국가스안전공사, "2008 가스사고연감", 태인, 2009.
- 7) Korea Gas Safety Corporation, "Accident and countermeasure report for LPG filling station of IKSAN and BUCHEON", 1998.
- 8) Myung-Seop Park, Jae-Min Seo, Jung-Woo Lee, Ky-Soo Kim, Sung-Bin Kim, Jae-Wook Ko and Dong-Il Shin, "A Study for Risk Assessment of LPG Storage Facilities", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 3, No. 3, pp. 9~16, 1999.
- 9) Jin Han Lee, Kwang Soo Yu, Kyo Shik Park, "Availability Analysis of Safety Devices installed for Pre-

- venting Accidental Events in the LPG Refueling Station", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 10, No. 1, pp. 26~31, 2006.
- 10) Seung-Lim Lee and Young-Soon Lee, "A Study on the Probability of BLEVE of Above-ground LP Gas Storage Tanks Exposed to External Fire", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 7, No. 1, pp. 19~23, 2003.
- 11) Sam-Kew Roh, Tae-Hwan Kim and Eun-Gu Ham, "A Study on Damage Effect from Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion(BLEVE) of LPG Charging Facility", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 3, No. 3, pp. 45~50, 1999.
- 12) Sung-Jin Bae and Byung-Jick Kim, "The Study on the Quantitative Analysis in LPG Tank's Fire and Explosion", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 3, No. 1, pp. 21~26, 1999.
- 13) Su-Kyung Lee and Chang-Wook Lee, "Consequence Analysis of the Fire & Explosion on the Flammable Liquid Handling Facility and LPG Station", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 3, No. 2, pp. 77~84, 1999.
- 14) Young-Do Jo, "A Study on the Minimum Safe Separation Distance from LPG Filling Station", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 3, No. 2, pp. 24~33, 1999.
- 15) 한국가스안전공사, "액화석유가스의 안전관리 및 사업법", 나모기획, 2009.
- 16) 한국가스안전공사, "고압가스통계", 한국가스안전공사(기술지도처), 2009.
- 17) Sa-Hwan Leem, Yong-Jeong Huh and Jong-Rark Lee, "A Study on the Possibility of BLEVE and UVCE for LPG Storage Tank of Underground Containment Type", 2008 Proceedings of The KASI Spring Conference, Vol. 9, No. 1, pp. 313~315, 2008.
- 18) Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, "A Study on the Quantitative Analysis and Estimation for Surround Building caused by Vapor Cloud Explosion(VCE) in LPG Filling Station", KOSOS, Vol. 25, No. 1, pp. 44~49, 2010.
- 19) Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, "Improvement for installation technology of LPG storage tank using TRIZ", Proceedings of Global TRIZ Conference 2010, 2010.
- 20) Sang-Bok Ree, Taguchi Method using Minitab, Eretec Inc., 2006.
- 21) 임사환, "LPG 저장탱크의 안전성 및 경제성분석과 TRIZ 응용설계에 관한 연구", 한국기술교육대학교 박사논문, 2010.