



푸 방법을 통한 최적의 저장탱크 시공에 관한 연구

허용정* · 이종락** · 이선영*** · †임사환

*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부, **한국가스안전공사 부산지역본부

***한국가스안전공사 가스안전연구원, 한국가스안전공사 시험검사처

(2013년 10월 21일 접수, 2014년 7월 20일 수정, 2014년 7월 28일 채택)

A Study on the Optimized Installation of Gas Storage Tank through Pugh Method

Yong Jeong Huh* · Jong Rark Lee** · Seon Yeong Lee*** · †Sa Hwan Leem

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

**Busan District Head Office, Korea Gas Safety Corporation

***Inst. of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

Gas Appliance Division, Korea Gas Safety Corporation

(Received October 21, 2013; Revised July 20, 2014; Accepted July 28, 2014)

요 약

본 연구는 가스충전소 등에서 운용하는 저장탱크에 대하여 푸(Pugh) 방법을 통하여, 기존의 지상형과 지하형의 장점과 단점을 비교·판정하여 경제적 시공으로 고객만족을 실현시키기 위함이다. 특히 대규모 저장시설에서의 가스사고를 획기적으로 줄여 사회적으로 심각한 안전문제를 해결하고자 한다. 가스를 대량으로 취급·저장하는 시설에서 운용하는 저장탱크의 설치방법을 푸 방법으로 판단하면 기존의 지상형과 지하매물형, 지하격납형 중에서 안전성과 토지이용률이 우수한 형태는 지하격납저장탱크가 가장 효과적이다.

Abstract - The aim of this study is achieving customer satisfaction by finding cost-effective installation of storage tanks in the gas filling stations. Pros and cons were measured by comparison between above and underground tanks using Pugh methods. In particular, severe problems regarding gas safety are expected to be resolved by reducing the frequency of gas accidents occurred in mass storage facilities. To this end, we have used Pugh's method to compare the advantages and disadvantages of the existing storage tanks-Ground above type and underground type. After the analyses, it is shown that underground containment storage tank can provide the highest degree of safety and Real estate among Ground above type, Underground buried type and underground containment type storage tanks.

Key words : pugh, storage tank, filling station

1. 서 론

최근에 자동차 연료가 가스로의 변화는 '삶의 질' 향상을 넘어 '생존'의 문제로 환경보존과 경제발전

을 조화롭게 추구하는 '지속가능한 발전'이란 새로운 패러다임에 부흥하고 있다.

LPG는 자동차 연료로 사용하면서 대도시의 대기 환경 개선을 위해 적용되고 있으며 대기 오염물질을 저감시키는데 효과적인 것으로 입증되고 있다.

특히, 미국, EU(유럽연합), 일본, 중국 등은 2000년도 이후부터 자동차의 이산화탄소 배출 허용기준

†Corresponding author: leemsahwan@kut.ac.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

Table 1. The state of LPG Consumption

units : 1000ton

Section	2004	2005	2006	2007	2008	Rate of increase(%)
Business	2,065	2,184	2,081	1,911	1,679	△5.4
City gas	75	96	69	62	178	2.8
Traffic	3,860	3,968	4,069	4,366	4,379	3.9
Industrial	481	509	504	637	650	4.2
Fuel	1,226	1,236	1,445	1,516	2,045	13.6

과 연비기준을 크게 강화하고 있다[1]. 이는 자동차 부문이 국가 에너지소비의 19.3%를 차지하고 있으며, 타 부문보다 감축 여력이 큰 편이기 때문이다[2].

독일의 경우 2004년 보급된 LPG 차량 수가 3만 여대, LPG 충전소 600여개에 불과했던 것이 2006년에는 각각 7만여대의 LPG 차량 및 1000여개의 충전소로 확장되었다[3]. 최근에는 베를린의 도로를 지나다니는 자동차 앞유리에 초록색, 노란색, 빨간색의 스티커가 붙여있다. 이 스티커는 환경 존에 드나들 수 있는 출입증과 같다. 환경존(Umwelt zone)[4]이란 미세먼지와 질소화합물 등의 배출량이 정부가 정한 허용기준치를 초과한 지역 또는 초과할 위험이 매우 높은 지역을 말한다. 아직은 스티커가 없는 차만 빼고 모든 색의 차량진입이 가능하지만 올해부터 초록색 스티커 차량만 환경존에 진입할 수 있다. 이처럼 독일은 교통분야의 의무화를 내세워 녹색성장을 하고 있다[5].

Table 1에서 보듯이 운송용으로 사용되는 LPG량이 점진적으로 년 평균 3.9%씩 증가하고 있다[6,7].

이를 보여주는 것과 같이, 국내 LPG 충전소는 최근 10년 동안 3배정도 증가하였으며, LPG충전시설 안전관리자 양성교육 과정의 이수자도 최근에 들어 급격한 증가세를 보이고 있다[3]. 그러나, 가스는 물리적 특성상 무색, 무취로 형태가 없어 검지하기가 어려워 안전관리자가 상주하고 있는 대단위 시설에서도 누출로 인한 화재 및 폭발의 사고가 발생하고 있다.

액화석유가스 자동차는 충전소가 대도시 근교에서 운용되고 있으며, 1998년에 발생한 익산충전소(UVCE)와 부천충전소(BLEVE)는 LPG 충전소에서 발생한 대표적인 안전사고로서 인명피해와 막대한 재산손실을 초래하였다[8,9].

현재 LPG 충전시설에 설치되어 있는 저장탱크의 65%정도가 자동차 충전소에 설치되어 있으며, 대부분이 지하매몰형으로 설치되어 있어 저장탱크의 구조적 결함을 수시로 점검하기 어려운 실정이다[3].

법·규정에 의해 설치된 지상형 저장탱크는 가스

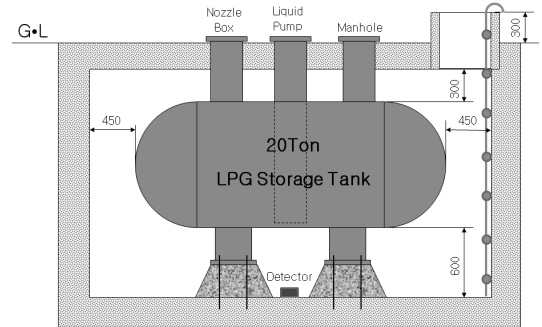


Fig. 1. Underground containment storage tank.

누출로 인한 UVCE와 BLEVE를 유발할 수 있으며, 지하매몰형은 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하다[10-12].

이를 해결하기 위한 방안으로 최근 지상형과 지하매몰형의 위험성과 경제성에 대한 모순문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같은 지하격납형 저장탱크를 TRIZ 기법을 활용하여 제안하였다[13].

따라서 본 연구에서는 기존의 저장탱크 설치방법과 현재 제안된 지하격납저장탱크의 시공방법에 대하여 아이디어 판단기법에서 퓨 방법을 통하여 최상의 아이디어를 판단하기 위함이다. 이를 통하여 안전성과 토지이용률이 가장 우수한 시공방법인 지하격납저장탱크로 파악되었다.

II. 이론배경 및 계산결과

LPG충전소에서 발생한 폭발 사고형태는 증기운 폭발(VCE)과 비등액체팽창증기폭발(BLEVE)이 대표적이다.

액화석유가스를 대량으로 저장·취급하고 있는 충전·집단·저장시설에서 발생하는 대표적인 사고의 형태는 Fig. 2와 같은 누출원과 점화원 등에 의하여 여러 가지 형태로 발생한다.

Leak	Once ignition	Delay ignition	Mid state	Tank heating	Ignition	Final state
Gas	Y		Jet Fire	Y		BLEVE
	N			N		Jet Fire
Liquefied		Y	Pool Fire	Y		BLEVE
		N	VCD	N		Pool Fire
					Y	VCE
					N	Mat'l Loss
					Y	VCE
					N	Mat'l Loss

Fig. 2. Event tree analysis of LPG filling system.

2.1. 푸 평가 과정

창의적인 설계개념 평가에 이용되는 푸 방법은 수년간의 산업 현장 경험을 지닌 설계 및 프로젝트 엔지니어인 스튜어트 푸(Stuart Pugh)에 의해서 개발되었다[14].

푸 방법은 다양한 아이디어와 옵션들을 평가하여 최적 해결방안을 찾아야 하는 상황에 적용한다.

푸 방법은 다음의 2단계를 거쳐서 아이디어를 판단한다.

단계 1

1. 판단기준

평가 판단기준 목록은 팀 토론을 통해 만들어진다. 벤치마크와 비교기준상품(대개는 나와 있는 것 중 "최상의" 상품)이 선택된다. 비교 대상이 될 상품이 없다면, 새로운 개념 중 하나(무작위로 선택된)가 비교기준 상품이 될 수도 있다.

2. 설계개념

최초의 설계개념은 개별적으로 또는 소그룹으로 브레인스토밍하여 도출한다.

3. 평가 매트릭스

각각의 설계개념은 비교기준 상품과 비교하여 토론되고 평가된다. 토론을 통해, 새로운 개념이 출현하고, 이것들은 다시 매트릭스에 추가되어 평가된다.

4. 1라운드 결산

1라운드 결과가 평가되고 톱 랭킹에 오른 개념들은 다음 라운드의 비교기준으로서 선택된다. 보육기(incubation) 동안, 팀들은 서로의 아이디어와 구성요소들을 빌려오고 추가적인 창의적 사고를 통해 최초의 설계개념을 개선시킨다. 3과 4를 반복하면서 설계는 개선과 통합(더 발전된 단계로)을 이루어간다.

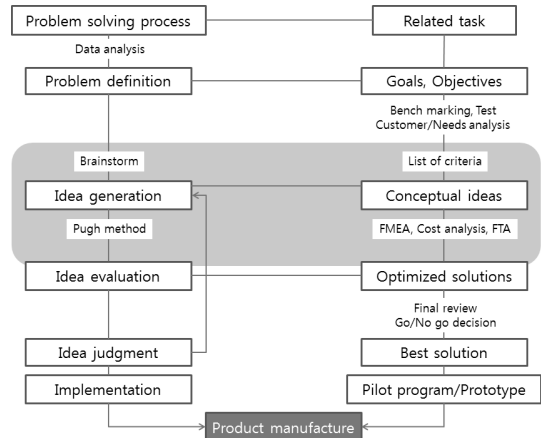


Fig. 3. Product Development Process.

단계2

5. 개선된 설계

가장 취약한 설계는 버린다. 각 라운드가 반복되면서 개수는 줄어들지만 개선된 개념이 출현한다. 이 과정 동안, 탄탄하게 살아남은 개념들이 더욱 자세하게 설계된다. 판단 기준은 확장되고 더욱 정련된다. 개념의 약점들은 제거된다. 팀은 전체 문제와 해결방안에 대한 통찰력을 획득한다.

6. 최상의 개념

이 과정은 "더 나은 아이디어"에 의해 반복하기 어려운 의견으로 수렴된다. 팀은 최상의 개념설계에 전념하고 그것의 성공을 보기 원한다[15].

Fig. 3은 상품 개발과 창의적 문제해결 과정을 비교한 것이다. 창의적문제해결의 각 단계는 하나의 결과를 낳고, 그것은 흐름도(flow-chart)의 우측상자 속 아이템으로 표시된다[16-18].

푸 방법을 사용할 때, 목표로 하는 설계개념의 결점과 단점을 극복하려면 의식적으로 노력이 필요하다.

2.2. 푸 방법의 경제적 이익

상품비용의 주요부분은 설계개념 단계에서 결정된다(70-85%). 따라서 최상의 사고방식과 설계도구들이 최소 비용으로 "최상의" 설계를 개발하는데 사용되어야 한다. 푸 방법은 이런 목표 달성을 위한 핵심도구가 된다.

푸 방법의 단계 1에 의해서 개념의 수가 점점 줄고, 더 우수한 설계가 만들어 진 다음, 비용분석, 실패유형과 영향분석(FMEA), 오류나무분석(FTA)과 같은 추가 연구가 행해질 수 있다. 이들 추가 연구는 가장 유망한 설계를 최적화 하는 동시에 상품 설계

Table 2. Pugh matrix about storage tank

Section	Leakage possibility	Economic	Real estate	Safety	Checking	Construct	Sum
Ground above type	-	+	-	-	+	+	3+ 3-
Underground buried type	+	-	+	S	-	-	2+ 3-
Underground containment type	+	S	+	+	+	S	4+ 0-

* Evaluation symbol : + = Excellence, - = Insufficiency, S = Equivalence.

에 수정된 판단기준을 적용하여 피드백을 가함으로써 공정계획수립을 시작한다는 목표를 갖는다. 이것은 “토탈설계” 또는 “동시공학(concurrent engineering)”으로 알려져 있다. 단계 2를 끝내면서 한두 개의 뛰어난 개념이 나타날 것이다. 그런 다음 설계와 평가 과정에 이어 설계 검토가 이루어지고 계속 진행 여부와 관한 결정은 경영진에 의해 이루어 진다[19].

2.3. 아이디어 판단방법

창의적 문제해결이란 새로운 아이디어를 동원하여 만족스럽지 못한 어떠한 상황을 개선하고 바꾸는 하나의 도구라 간주될 수 있다.

창의성이란 우리가 문제해결을 위해 찾아낸 그 해결방안의 질적수준에 녹아 있는 것이라 볼 수 있다.

혁신이란 창의적인 아이디어를 바탕으로 이루어 지거나 혹은 창의적인 아이디어들이 새로운 방법으로 결합되어 만들어진다.

창의성은 기본적으로 예술가의 속성이고, 혁신은 엔지니어의 속성이다.

“The Creative Brain(창의적 두뇌)”의 저자 허만(Ned Herrmann)은 창의성을 의식과 무의식 세계의 모든 행동을 포함하는 활발한 활동이라 보고 있다. 즉 두뇌전체가 여기에 관여하는 것이다. 그의 창의성에 대한 정의는 다음과 같다.

넓은 의미의 창의성이란 아이디어를 창출할 뿐만 아니라, 그 아이디어를 적용한 결과까지도 보여주는 (즉 그것을 적용한 결과로 어떤 일이 일어나도록 하는) 어떤 것이라고 생각한다. 창의성을 높이기 위해서는 자기 자신의 반응과 다른 사람들의 반응 그리고 경험 그 자체가 자신의 능력을 강화시킬 수 있도록 하기 위하여 아이디어를 어떠한 형태로든 적용할 필요가 있다. 즉 나를 포함한 모든 사람이 나의 노력에 박수를 보내면 나의 창의성은 더욱 높아지게 되는 것이다[20].

III. 결 과

LPG 저장탱크를 시공하는 방법은 지상저장탱크, 지하매몰저장탱크, 지하격납저장탱크로 분류할 수 있다. 하지만 지상저장탱크는 외부 화재 등에 취약하여 폭발과 화재의 피해가 발생할 수 있으며, 지하매몰저장탱크는 시공성과 안전점검성이 미흡하다.

새로운 지하격납저장탱크의 방법은 지상저장탱크와 지하매몰저장탱크의 장점과 단점을 효과적으로 개선할 수 있는지 푸 방법을 통하여 파악하였다.

Table 2는 저장탱크의 시공방법에 따른 장·단점 행렬표이다. 이를 통하여 최적의 저장탱크 시공방법을 도출하였다.

지상저장탱크는 3+, 3-로 우수한 점과 미흡한 점이 상존하고 있으며, 지하매몰저장탱크는 2+, 3-로 우수한 점이 2개, 미흡한 점이 3개로 나타났다.

지하격납저장탱크는 4+로 나타났으며, 세부적으로 살펴보면, 누출가능성, 토지이용률, 안전성, 안전점검성이 우수한 점으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 LPG충전소에서 발생하는 폭발과 화재의 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 새로운 시공방법에 대하여 푸 방법을 통하여 아이디어를 판단하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 지상저장탱크는 6가지 평가기준에서 경제성, 안전점검성, 시공성의 3가지는 우수하고, 가스누출가능성, 토지이용률 안전성의 3가지는 미흡한 것으로 나타났다.
2. 지하매몰저장탱크는 가스누출가능성과 토지이용률의 2가지는 우수한 반면, 시공성과 경제성, 안전

점검성 등 3가지가 미흡한 것으로 나타났다.

3. 지하격납저장탱크는 6가지 평가기준에서 4가지가 우수한 것으로 나타났으며, 세부적으로는 가스 누출가능성, 토지이용률, 안전성과 안전점검성이 우수하다.

이상의 결과로부터 LPG 저장탱크는 TRIZ 기법을 활용하여 제안한 지하격납저장탱크가 가장 최적의 시공방법임을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2014년 한국기술교육대학교 교수연구진흥과제 지원으로 연구되었으며 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] <http://www.keei.re.kr>
- [2] OECD, Integrating Environment and Economy, Progress in the 1990s, (1996)
- [3] Park, S. Y., "German gas market trends - LPG gas increasing popularity of alternative fuels", *The Gas Safety Journal*, **35**, 77-80, (2009)
- [4] [www. ECOMEDIA.co.kr](http://www.ECOMEDIA.co.kr).
- [5] http://www.fahrschule-herrmann.de/Infoblatt_tuev_Pla_ketten.pdf
- [6] http://www.berlin.de/sen/umwelt/luftqualitaet/de/luftfrei_nhalteplan/download/Umweltzone_Broschuere_en.pdf
- [7] Lee, H. J., "Came to effort of human, where that keep away global warming", *Happy KGS-Special Theme*, Bimonthly Magazine of Korea Gas Safety Corporation, **91**, 4-7, (2010)
- [8] Korea Gas Safety Corporation, Technical Inspection & Advisory Service Division, "High-pressure Gas Statistics", (2009)
- [9] Korea Statistical Information System Consumption data of Energy source. <http://kosis.nso.go.kr>
- [10] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE", *AIChE*, New York, (1994)
- [11] Leem, S. H. and Huh, Y. J., "A Study on the Quantitative Analysis and Estimation for Surround Building caused by Vapor Cloud Explosion(VCE) in LPG Filling Station", *KOSOS*, **25**(1), 44-49, (2010)
- [12] Bisk, A. M. and Cunningham, M. H., "The boiling Liquid Expanding Vapor Explosion", *J. Loss Prev. Process Ind.*, **7**(6), 474-480, (1994)
- [13] Leem, S. H. and Huh, Y. J., "Improvement for installation technology of LPG storage tank using TRIZ", *Proceedings of Global TRIZ Conference 2010*, (2010)
- [14] French, M. J., "Conceptual Design for Engineers", *Springer-Verlag*, NewYork, (1985)
- [15] Love, S. F., "Planning and Creating Successful Engineered Designs : Managing the Design Process, revised edition", *Advanced Professional Development*, Los Angeles, (1986)
- [16] Pugh, S., "Total Design : Integrated Methods for Successful Product Engineering", *Addison-Wesley*, New York, (1991)
- [17] Ullman, D. G., "The Mechanical Design Process", *McGraw-Hill*, New York, (1992)
- [18] Taguchi, G., "Taguchi on Robust Technology Development: Braining Quality Engineering Upsteam", *ASME Press, Fairfield*, New Jersey, (1993)
- [19] Lumsdaine, E., Lumsdaine, M., Shelnutt, J. W., "Creative Problem Solving and Engineering Design", *McGraw-Hill*, New York, (2001)
- [20] Herrmann, N., "The Creative Brain, Brain Books", *Lake Lure*, North Carolina, (1990)