퓨 방법을 통한 LPG저장탱크 혁신시공기술

임사환*, 허용정**
*한국기술교육대학교 기계공학과
**한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부
e-mail:leemsahwan@kut.ac.kr

A study on Innovation of Installation Technology for LPG Storage Tank through Pugh Method

Sa-Hwan Leem*, Yong-Jeong Huh**
*Department of Mechanical Engineering, KUT
**School of Mechatronics Engineering, KUT

요 약

본 연구는 LPG 충전소 등에서 운용하는 저장탱크에 대하여 퓨방법을 통하여, 기존의 지상형과 지하형의 장점과 단점을 비교·판정하여 혁신시공법으로 고객만족을 실현시키기 위함이다. 자동차 연료로서 LPG(Liquefied Petroleum Gas)의 사용은 대기오염을 줄이는데 효과적으로 사용이 빠르게 확산되고 있다. 하지만 가스사용이 늘어나면서 폭발과 화재에 의한 인명피해가 해마다 발생하고 있으며, 특히 대규모 저장시설에서의 가스사고는 사회적으로 심각한 문제를 야기하고 있다. 따라서, 본 연구는 LPG를 대량으로 취급·저장하는 시설에서 운용하는 저장탱크의 설치방법을 개선하기 위하여 아이디어 판단기법중 하나인 퓨(Pugh) 방법으로 판단하면 기존의 지상형과 지하매몰형, 지하격납형에서 안전성과 토지이용률이 우수한 지하격납저장탱크가 가장 효과적임을 알 수 있다.

1. 서론

자동차 연료가 가스로의 변화는 '삶의 질' 향상을 넘어 '생존'의 문제로 환경보존과 경제발전을 조화롭게 추구하는 '지속가능한 발전'이란 새로운 패러다임에 부흥하고 있다.

특히, 미국, EU(유럽연합), 일본, 중국 등은 2000년도 이후부터 자동차의 이산화탄소 배출 허용기준과 연비기준을 크게 강화하고 있다.[1] 이는 자동차 부문이 국가 에너지소비의 19.3%를 차지하고 있으며, 타 부문보다 감축 여력이 큰 편이기 때문이다.[2]

녹색성장을 위한 에너지원으로서 LPG는 자동차 연료로 사용하면서 대도시의 대기환경 개선을 위해 적용되고 있으며 대기 오염물질을 저감시키는데 효과적인 것으로 입증되고 있다.

독일의 경우 2004년 보급된 LPG 차량 수가 3만여대, 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)이란 미세먼지와 질소화합물 등의 배출량이 정부가 정한 허용기준치를 초과한 지역 또는 초과할 위험이 매우 높은 지역을 말한다.[4~6] 아직은 스티커가 없는 차만 빼고 모든 색의 차량진입이 가능하지만 올해부터 초록색 스티커 차량만 환경존에 진입할 수 있다. 이처럼 독일은 교통분야의 의무화를 내세워 녹생성장

[표 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

을 하고 있다.[7]

표 1에서 보듯이 운송용으로 사용되는 LPG량이 점진적으로 년 평균 3.9%씩 증가하고 있다.[8,9]

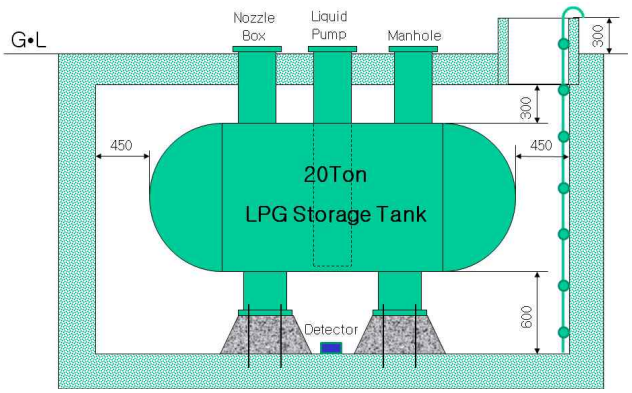
이를 입증하듯, 국내 LPG 충전소는 최근 10년 동안 3배정도 증가하였으며, LPG충전시설 안전관리자 양성교육 과정의 이수자도 최근에 들어 급격한 증가세를 보이고 있다.[3] 하지만 가스는 물리적 특성상 무색, 무취로 형태가 없어 검지하기가 어려워 안전관리자가 상주하고 있는 대단위 시설에서도 누출로 인한 화재 및 폭발의 사고가 발생하고 있다.

액화석유가스 자동차는 충전소가 대도시 근교에서 운용되고 있으며, 1998년에 발생한 익산충전소(UVCE)와 부천충전소(BLEVE)는 LPG 충전소에서 발생한 대표적인 안전사고로서 인명피해와 막대한 재산손실을 초래하였다.[10, 11]

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 가스누출로 인한 UVCE와 BLEVE를 유발할 수 있으며, 지하매몰형은 부식 등에 의한 위험성과 경제성이 취약하다.[12~15]

이를 해결하기 위한 방안으로 최근 지상형과 지하매몰형의 위험성과 경제성에 대한 모순문제를 해결하기 위하여 [그림 1]과 같은 지하격납형 저장탱크를 TRIZ 기법을 활용하여 제안하였다.[16]

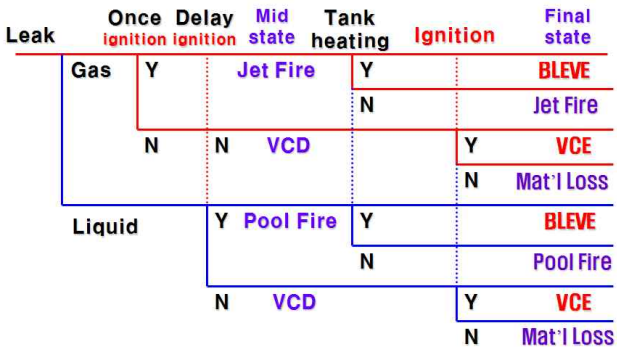


[그림 1] Underground containment storage tank.

따라서 본 연구에서는 기존의 저장탱크 설치방법과 현재 제안된 지하격납저장탱크의 시공방법에 대하여 아이디어 판단기법에서 퓨 방법을 통하여 최상의 아이디어를 판단하기 위함이다.

2. 이론

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



[그림 2] Event Tree Analysis of LP Gas Filling System.

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

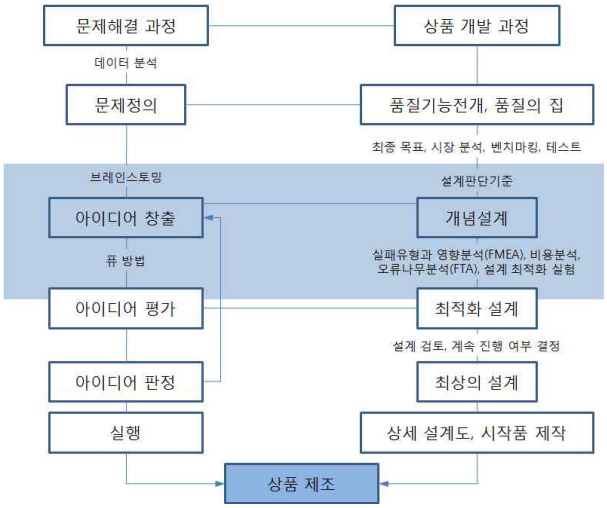
2.1. 퓨 평가 과정

창의적인 설계개념 평가에 이용되는 퓨 방법은 수년간의 산업 현장 경험을 지닌 설계 및 프로젝트 엔지니어인 스튜어트 퓨(Stuart Pugh)에 의해서 개발되었으며, 다음의 과정을 거쳐서 아이디어를 판단한다.[17]

1. 판단기준 : 평가 판단기준 목록은 팀 토론을 통해 만들어 진다. 벤치마크와 비교기준상품이 선택된다. 비교 대상이 될 상품이 없다면, 새로운 개념 중 하나가 비교기준 상품이 될 수도 있다.
2. 설계개념 : 최초의 설계개념은 개별적으로 또는 소그룹으로 브레인스토밍하여 도출한다.
3. 평가 매트릭스 : 각각의 설계개념은 비교기준 상품과 비교하여 토론되고 평가된다.
4. 1라운드 결산 : 1라운드 결과가 평가되고 톱 랭킹에 오른 개념들은 다음 라운드의 비교기준으로서 선택된다. 3과 4를 반복하면서 설계는 개선과 통합을 이루어간다.
5. 개선된 설계 : 가장 취약한 설계는 버린다. 각 라운드가 반복되면서 개수는 줄어들지만 개선된 개

념이 출현한다. 이 과정 동안, 판단 기준은 확장되고 더욱 정련된다. 개념의 약점들은 제거된다.

6. 최상의 개념 : 이 과정은 “더 나은 아이디어”에 의해 번복하기 어려운 의견으로 수렴된다. 팀은 최상의 개념설계에 전념하고 그것의 성공을 보기 원한다.[18]



[그림 3] Product Development Process.

[그림 3]은 상품 개발과 창의적 문제해결 과정을 비교한 것이다. 창의적문제해결의 각 단계는 하나의 결과를 낳고, 그것은 흐름도(flow-chart)의 우측상자 속 아이템으로 표시된다.[19-22]

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

2.2. 퓨 방법의 경제적 이익

퓨 방법은 최상의 사고방식과 설계도구들이 최소비용으로 “최상의” 설계를 개발하는데 사용된다. 상품비용의 주요부분은 설계개념 단계에서 결정되기 때문이다(70-85%).

퓨 방법의 단계 1에 의해서 우수한 설계가 만들어지고, 비용분석, 실패유형과 영향분석(FMEA), 오류나무분석(FTA)과 같은 추가 연구가 행해질 수 있다. 이것은 “토털설계” 또는 “동시공학(concurrent engineering)"으로 알려져 있다. 단계 2를 끝내면서 설계와 평가 과정에 이어 설계 검토가 이루어지고 계속 진행 여부와 관한 결정은 CEO에 의해 이루어진다.[23]

3. 결과

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 퓨 방법을 통하여 파악하였다.

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

지상저장탱크는 3+, 3-로 우수한 점과 미흡한 점이 상존하고 있으며, 지하매몰저장탱크는 2+, 4-로 우수한 점이 2개, 미흡한 점이 4개로 나타났다.

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

4. 결론

본 연구는 LPG충전소에서 발생하는 폭발과 화재

[표 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.						+ -

의 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 새로운 시공 방법에 대하여 퓨 방법을 통하여 아이디어를 판단하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 지상저장탱크는 6가지 평가기준에서 3가지는 우수하고, 3가지는 미흡한 것으로 나타났다.

2. 지하매몰저장탱크는 가스누출가능성과 토지이용률이 우수한 반면, 시공성과 경제성, 안전점검성이 미흡한 것으로 나타났다.

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

이상의 결과로부터 LPG 저장탱크는 지하격납저장탱크가 가장 최적의 시공방법임을 알았다.

참고문헌

[1] http://www.keei.re.kr

[2] OECD, Integrating Environment and Economy, Progress in the 1990s, 1996.

[3] 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.

[4] www. ECOMEDIA.co.kr.

[5]http://www.fahrschule-herrmann.de/Infoblatt_tuev_Plaketten.pdf

[6]http://www.berlin.de/sen/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/Umweltzone_Broschuere_en.pdf

[7] Hyong-Ja Lee, "Came to effort of human, where that keep away global warming", Happy KGS-Special Theme, Bimonthly Magazine of Korea Gas Safety Corporation, Vol.91, pp.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] Reid, R. C., "Some Theories on Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions", Fire, March, pp.525-526, 1980

[12] Korea Gas Safety Corporation, "Liquefied Petroleum Gas Safety Control and Business Law", 2007.

[13] 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, 313-315, 2008.

[14] 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.

[15] A. M. Bisk and M. H. Cunningham, "The boiling Liquid Expanding Vapor Explosion", J. Loss Prev. Process Ind., Vol. 7, No. 6, 474-480, 1994.

[16] Sa-Hwan Leem and Yong-Jeong Huh, "Improvement for installation technology of LPG storage tank using TRIZ", Proceedings of Global TRIZ Conference 2010, 2010.

[17] Michael J. French, "Conceptual Design for Engineers", Springer-Verlag, NewYork, 1985.

[18] Sidney F. Love, "Planning and Creating Successful Engineered Designs : Managing the Design Process, revised edition", Advanced Professional Development, Los Angeles, 1986.

[19] Stuart Pugh, "Total Design : Integrated Methods for Successful Product Engineering", Addison-Wesley, New York, 1991.

[20] David G. Ullman, "The Mechanical Design Process", McGraw-Hill, New York, 1992.

[21] Genichi Taguchi, "Taguchi on Robust Technology Development: Braining Quality Engineering Upsteam", ASME Press, Fairfield, New Jersey, 1993.

[22] Ned Herrmann, "The Creative Brain, Brain Books", Lake Lure, North Carolina, 1990.

[23] Edward Lumsdaine, Monika Lumsdaine, J. William Shelnutt, "Creative Problem Solving and Engineering Design", McGraw-Hill, New York, 2001.