

## LPG 이송작업시 인적과오에 대한 사상수목분석

김호영\*, 김성영\*, 임현교\*\*

\* 충북대학교 대학원 , \*\* 충북대학교 안전공학과

### Abstract

LPG refueling include a lot of risk done by human beings, dealing with highly combustible gas, so, during the refueling, the leakage initiated by human errors can result in a catastrophic accident.

Therefore, this research tried to show what kind of tasks would include the high probability of the human errors and what should be considered for effective safety management in the LPG refueling.

At first, 4 typical cases were taken through surveying various accident cases, and then a prototype of the refueling task was presented. And each task was analysed by FTA and ETA.

The results showed that overpressure occupies 64.64% of the major reasons for gas leakage, and its probability was approximately  $6.62E-06$ . Among the tasks, gas leakage resulted from mal-assembly of lorry hoses had the highest rate, and human errors related to opening and closing valves of pipe lines were most frequent. Also, the effects of confirming tasks were analyzed quantitatively.

### 1. 서론

LPG 는 가정용, 공업용 연료로 많이 사용될 뿐만 아니라 자동차 연료로도 사용되기 때문에 LPG 자동차의 보급확대 등에 발맞춰 그 수요가 매년 계속 증가하는 추세이다. 또한 가스 관련 사고면에서도, 도시가스 사고나 일반가스 사고는 '96 년에 들어서면서 오히려 감소 또는 주춤하는 경향을 보이는데 비하여 여전히 LPG 사고는 상대적으로 증가하고 있어 지속적인 관심이 요구된다.

LPG 는 유통단계에서 충전·저장·운반·공급·사용 등 여러 가지 작업이 이루어진다. 그 중 LPG 충전소에서는 저장탱크로 이송하여 저장하는

작업 및 자동차용기나 일반용기로 충전하는 작업이 이루어지며, 직접 운반차량을 이용하여 수요처로 공급하기도 한다.

이렇게 복잡하고 다양한 설비를 가지고 다량의 가연성 가스를 취급하는 LPG 충전소내에서 이루어지는 작업들 중 중대재해사고의 발생 우려가 있는 작업으로서 가장 높은 것은 탱크로리로부터 저장탱크로의 주입을 위한 이송작업이라 할 수 있다.

그 이유로는 ① 정전기대전 (靜電氣帶電)의 위험성, ② 탱크로리 및 이송설비 등 주요 기기의 낮은 신뢰도, ③ 인간의 입력정보의 대부분이 시각에 의해 입력된다는 것, ④ 일시적인 처리설비의 증대에 따른 인적오류 가능성의 증대 등을 들 수 있다.

이 중 실제 가스에 관련된 사고의 원인을 살펴보면 인간의 취급부주의가 전체원인의 30% 이상을 차지하는 것으로 보고되고 있어, 작업의 성패가 인간신뢰도에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 그러나 실제로는 철저한 안전관리가 잘 이루어지지 않고 있으며, 그 결과 여러 종류의 사고가 발생하고 있다.

이러한 배경에서 본 연구는 어떤 작업이 인적과오에 취약한가를 정량적으로 비교·평가하고, 이를 통해 효율적인 교육이나 안전관리를 위해 어느 것에 먼저 중점적인 관리가 이루어져야 할 것인지를 밝혀 재해사고 예방의 효과를 극대화하기 위하여 수행되었다.

## II. 연구의 배경이론 및 방법

안전공학분야에서는 전통적으로 사상수목분석 (Event Tree Analysis) 과 결함수목분석 (Fault Tree Analysis) 을 활용하여 작업자의 작업수행과정이나 재해연쇄과정을 정량적으로 표현하고자 하는 노력이 있어 왔다.

ETA 는 재해연쇄과정을 시간적인 경과에 따라 몇 개의 작은 직무들로 세분하고 이들 직무 각각의 성패를 통해 사상연쇄의 확률을 추정한다. 이 기법은 사상의 연쇄를 시간의 경과에 따라 귀납적으로 검토할 수 있다는 장점을 지니고 있어 복잡한 일련의 사상들을 분석하는 데 많이 활용된다.

반면, FTA 는 재해가 발생할 수 있는 요인들의 수많은 조합을 논리 기호와 부울대수 (Boolean Algebra) 를 이용해 연역적으로 분석하는 기법으로, 사상들의 위중성 (危重性) 을 시간적으로 확인할 수 있다는 장점을 가지지만, 사상들의 시간적 연쇄에 관한 정보는 얻을 수 없다는 단점이 있다.

본 연구에서는, 이송작업이 시간적 경과에 따라 다단계로 복잡하게 구성되어 있으므로 직무의 흐름과 성격을 용이하게 이해하고 분석의 효율성을 높이고자 ETA와 FTA 기법을 근간으로 하여 분석하였다.

### III. LPG 이송작업의 모형화

이송작업은 LPG를 탱크로리로부터 저장탱크로 주입하여 저장하는 과정으로 그림 1의 순서에 따라 진행된다.

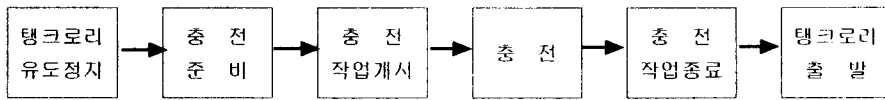


그림 1 이송작업 진행 순서

이송하는 작업의 원리는 액펌프방식과 압축방식의 두 가지가 있다. 액펌프방식은 기체의 평형(증기압) 상태에서 액펌프에 의해 저장탱크에 저장·송출하고, 압축방식은 저장탱크의 증기(vapor)를 콤프레셔로 회수 압축하여 탱크로리에 가압하면 액은 그 압력에 의해 저장탱크에 이송되는 것이다. 일반적으로는 이송시간이 단축되고 탱크로리의 잔액을 완전히 회수할 수 있는 이점이 있으므로 압축방식이 사용된다.

작업내용은, 기초적인 자료의 수집·분석과 현장실무자와의 면담을 통하여 이송작업의 특성, 절차, 위험요소, 사고유형 등을 파악하였고, 이송작업의 수순을 작업공정분석법에 의하여 분석하여 전형(prototype)을 수립하였다. 그 결과는 그림 2와 같다.

한편, 이와 같은 이송작업시에 필요한 설비는 크게 대형기지로부터 LPG를 수송해 오는 탱크로리, 탱크로리에 가압하여 저장탱크로의 주입을 빠르게 해주는 콤프레셔, 가스 및 액이 이동하는 배관 및 흐름을 조정하는 밸브, 다량의 LPG를 저장하는 저장탱크로 구성된다.

그림 3은 단순화시킨 이송과정의 설비 배치도이다.

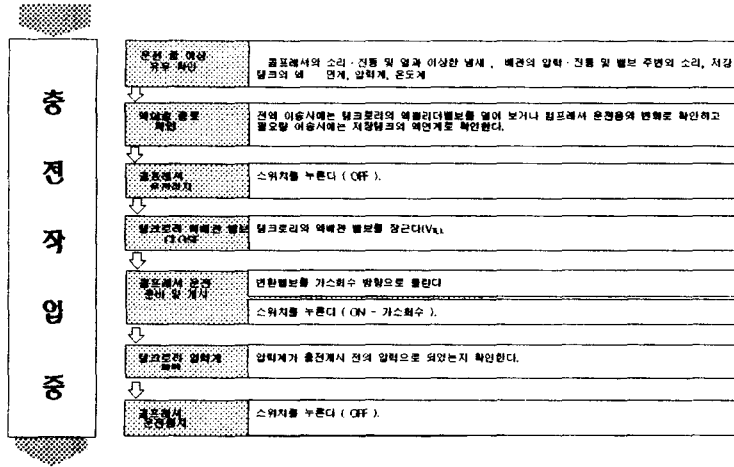


그림 2 이송작업의 Prototype (일부)

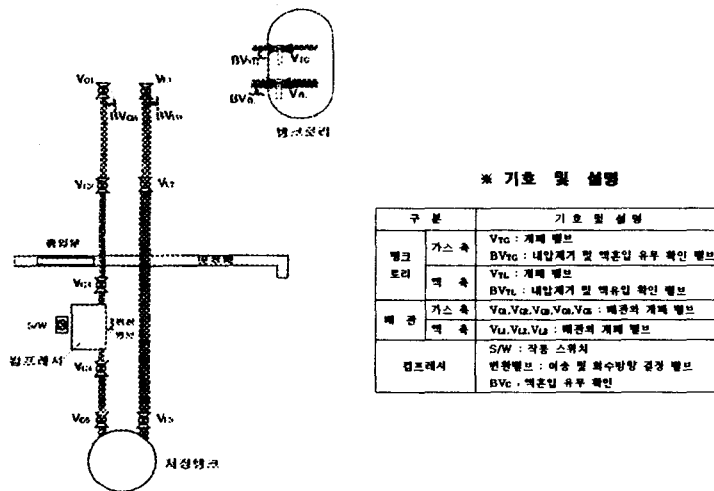


그림 3 단순화된 이송설비 배치도

#### IV. 인적과오의 정량적 분석

사고유형에 대해서는, 그간의 사고사례들을 종합하여 이송작업의 특성에 기인한 작업이라 할 수 없는 정비, 교체, 보수작업 등을 제외하고, 이송작업시 발생한 사고사례만을 분석하여 얻은 세 가지 경우의 사고유형

을 도출하였다. 또한 이송작업이 다른 작업에 비해 밸브조작이 많은 특성을 고려하여 사고발생 가능성이 높을 것으로 생각되는 경우를 추가하여 4가지 유형으로 분류하였다.

이렇게 분류된 사고의 유형은 앞서 제시한 prototype 의 과정과 FTA 를 통해 확인하였다. 이 중 특히 호스의 체결이 불량한 상태에 기인한 누출사고에 대하여 다음과 같다.

가스 로리호스나 액 로리호스가 탱크로리와 체결이 불량하다면, 컴프레서를 작동하여 작업을 하는 동안 어떠한 형태로든지 분리되어 누출이 발생하게 될 것이다. 이 경우를 FTA 로 나타내 보면 그림 4 와 같이 각 사상간의 관계는 더욱 명확해진다.

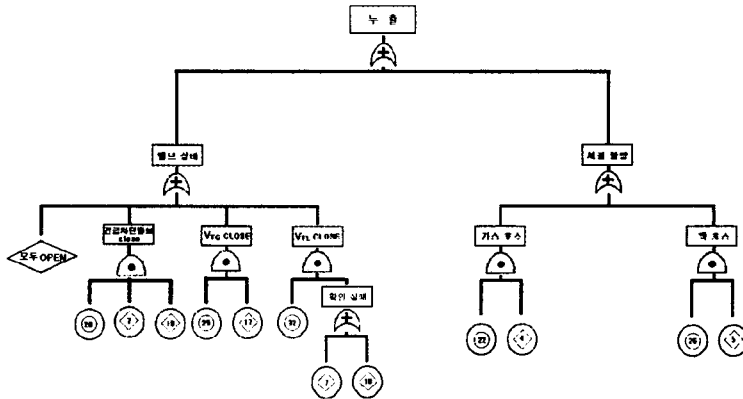


그림 4 연결호스 체결불량에 의한 누출시의 FTA

이렇게 구해진 각 사상들을 누출이란 결과사상에 중점을 두어 시간의 흐름에 따라 ETA 로 작성해 보면 그림 5 와 같이 된다.

여기에 각 직무에 해당하는 성공률과 실패율을 대입하면  $3.6E-06$  이 됨을 알 수 있다. 이러한 과정은 다른 경우에 있어서도 동일하게 적용되었다.

분석결과를 종합하여 정리하면, 배관 밸브의 오조작, 컴프레서 변환밸브의 오조작, 탱크로리 밸브의 오조작, 저장탱크의 과충전 등에 의한 과압의 경우가  $6.62E-06$  의 발생률로 전체 누출의 64.64% 를 차지하였고, 연결 호스 체결 불량에 의한 누출은  $3.6E-06$  의 발생률로 35.17% , 탱크로리 운전자의 실수에 의한 연결호스 파열 및 분리는  $2.11E-08$  의 발생률로 상대적으로 작은 값을 보였다.

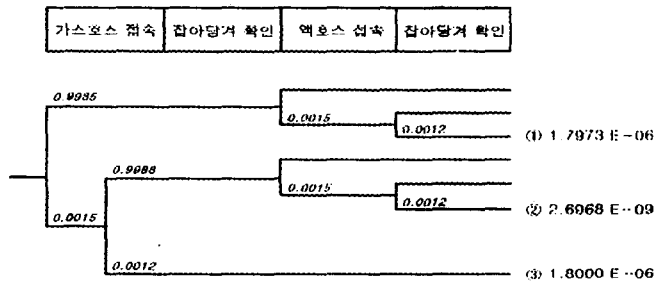


그림 5 연결호스 체결불량에 의한 호스분리시의 ETA

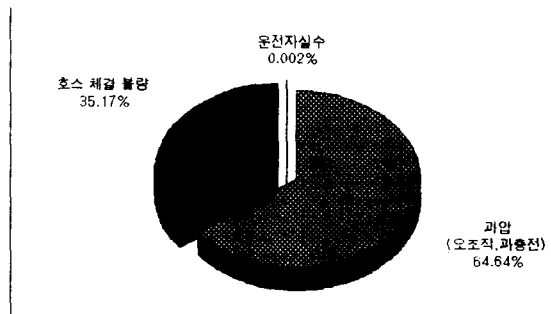


그림 6 가스누출에 대한 원인별 분포

## V. 고찰

본 연구의 결과를 바탕으로 LPG 충전소에서의 이송작업에 대한 효과적인 안전관리를 위하여 고려해야 할 것들을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 이송작업시 작업자의 작업수준이 적절한가를 고려하여 문제가 있을 경우 수정하고 재설계하여야 한다. 작업자가 인적과오를 범하지 않고 안전하게 작업을 수행하도록 하여야 하는 것이 표준작업수준의 목적이다. 따라서 본 연구에서 제시한 이송작업의 작업공정도나 prototype 을 바탕으로 실제 현장에서의 상황과 비교하여 작업의 원활한 흐름의 방해요소나 인적과오의 요소를 찾아내어 제거한다면, 보다 안전한 작업이 이루어질 수 있을 것이다.

둘째, 이송작업에 대한 안전교육이나 안전훈련의 방법이 바뀌어야 한다. 종래의 안전교육이나 훈련은 사고사례를 통한 원인분석 위주였다.

이는 동종 또는 유사 재해에 대한 예방이라는 한정적이고 소극적인 방법이기 때문에 잠재가능성이 있는 사고에까지 교육이나 훈련의 효과를 기대하기는 힘들며, 작업자에게 흥미를 줄 수도 없다. 본 연구에서와 같이 작업의 전체적인 흐름을 구체적으로 살펴보고 잠재되어 있는 과오 요소들간의 관계를 조합하여 보면, 아직 발생하지 않은 사고에 대해서도 안전교육이나 훈련이 이루어질 수 있다.

셋째, 작업자나 관리자의 안전의식 고양을 위하여 과학적이고도 구체적인 연구결과를 활용하여야 한다. 본 연구에서와 같이 사고발생율에 대한 정량적 분석은, 사고의 위험성을 막연하게 '그럴 것이다' 라고 여기고 작업 및 안전관리를 하던 작업자나 관리자에게 보다 구체적인 정량치로써 부각시킴으로써 주의를 환기시키고 안전의식을 고양시키는 효과가 기대된다.

이와 같이 LPG 충전소에서의 이송작업시 작업자가 하는 행동의 위중(危重)한 작업요소를 발견하여, 작업자의 교육, 작업수행, 이상 발생시의 조치에 이르기까지 효과적으로 대응하여야 재해예방효과가 극대화될 것이다.

## VI. 결론

LPG 충전소에서의 이송작업은 다량의 가연성 물질을 일시에 취급하는 과정이기 때문에 어느 누구도 그 위험성을 과소평가하지 않고 있으며, 그에 따라 안전관리 및 교육의 중요성이 강조되는 곳 중의 하나이다.

본 연구는 이송작업 순서의 prototype 을 바탕으로 작업자인적과오에 의한 사고유형별로 과오요소를 찾아내고 ETA 분석을 하여 각 작업과정의 위중성을 정량적으로 부각시켜 보고자 하였다.

본 연구에서 수행한 정량적 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 누출의 원인별 발생율에 있어서는 과압의 경우가 64.64 %, 연결호스 체결 불량률의 경우가 35.17 %의 비율이었다.

둘째, 개별적인 원인별 누출의 발생율은 연결호스 체결불량률의 경우가 가장 높았고, 저장탱크 과충전으로 인한 과압의 경우, 탱크로리 운전자의 착각에 의한 연결호스 파열 및 분리, 배관의 밸브 오조작, 탱크로리 밸브상자의 밸브 오조작, 컴프레셔 변환밸브 오조작의 순으로 나타났다.

셋째, 밸브의 위치별로 발생율을 살펴보면, 밸브 조작수에 비례하여 배관의 밸브 오조작이 가장 높았고, 그 다음은 탱크로리 밸브상자의 밸브 오조작, 컴프레셔 변환밸브 오조작의 순이었다.

넷째, 확인작업이 인적과오에 의한 누출을 예방하는 데 있어서 중요하였다. 이런 결과는 밸브의 open 과정에서 두 번의 확인작업을 다 실패했을 경우의 누출의 발생률이 현저히 높아지는 점을 통해서도 알 수 있었다.

작업자에게 안전한 작업을 하도록 교육하기 위해서는 무엇보다 적절한 작업순서가 체계화되어 있어야 하고, 이를 바탕으로 한 교육 및 훈련이 이루어져야 한다. 이와 같은 점에서 본 연구는, 다른 연구에서와 같이 인적과오에 대한 자료부족이 문제시될 수 있지만, 위험물질을 취급하는 작업과정에 대하여 보다 효율적인 안전관리를 위한 의미를 정량적으로 제시하고자 한 시도만으로도 의미가 있다고 볼 수 있다.

추후 연구에서는 전체적인 작업과정에서 인적과오유형을 밝혀볼 필요가 있으며, 이 때에는 각 작업간의 의존도를 고려한 종속적인 관계에서 정량적 분석을 수행해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Kung S. Park, Human Reliability, Elsevier, 1987.
- [2] 塩見弘, 人間信頼性工學入門, 日科技連, 1996.
- [3] 日本總合安全研究所, FTA 安全工學, 機電研究社, 1992.
- [4] 千住鎮雄 外, 作業研究, 日本規格協會, 1987.
- [5] 임현교, “반도체 공장의 위험물 교체작업시 인적과오에 대한 정량적 분석”, 한국산업안전공학회지, Vol.12, No.4, pp.161-168, 1997.
- [6] 韓國가스安全公社, LPG 안전관리 (안전관리책임자·안전관리원), 1987.
- [7] 韓國가스安全公社, 가스사고편람, 1997.