

가스설비의 정량적 안전성 평가

김유탉 · 이광원 · 백재진 · 오신규* · 한정민* · 김원국**
호서대학교 안전공학부 · *한국가스공사 연구개발원 · **RMS.co

1. 서론

현재 막대한 기초투자비와 대규모의 고가장비들로 이루어진 가스시설물 및 관련 산업분야는 풍부한 경험과 깊이 있는 공학적 지식을 바탕으로 코드, 가이드라인, 체크리스트, 표준규격 등의 관리체계를 통해 사업장내에서 상당한 수준의 안전을 보증하고 있다. 하지만 여전히 관련된 사고의 개연성은 상존하고 있으며 인명 및 재산피해를 수반한 사고도 지속적으로 발생하고 있다.

이같은 이유로 중대한 사고를 미연에 방지하기 위하여 안전성 평가가 시행되며, 본 연구에서 주로 정량적 평가를 FTA, ETA, HRA기법을 사용하여 가스설비에 대한 안전성 평가를 수행하였다. 이를 위하여 신뢰성 기초자료를 우선 수집하고, 가스설비에 대하여 가장 큰 사고라 할 수 있는 대규모 누출사건을 FTA기법을 사용하여 분석하고 대규모 누출이 발생시 어떻게 사고가 전개되는가는 ETA기법을 사용하여 분석하였다. 또한 인간실수는 HRA기법을 사용하여 정량적으로 평가하였다.

2. 가스시설의 개요

본 연구에서 안전성 평가를 실시한 가스시설물은 고압의 가스를 공급받아 저압으로 감압시켜 다른 설비에 공급하고 있다. 본 시설물의 구성요소를 살펴보면 설비를 감시 및 제어하는 제어실과 배관에 유입되는 이물질들을 제거하는 가스필터, 정압기로 감압하는 과정에서 발생하는 가스온도 저하를 보상하기 위한 가스히터와 고압을 저압으로 낮추는 정압기, 정압기의 상류측에 설치되어 이상압력이 발생시 가스공급을 신속히 차단시키는 긴급차단밸브(ESV), 그리고 가스의 흐름량을 측정하는 계량설비와 사고나 공사시 가스배출을 위한 방산설비와 정전에 대비한 UPS와 가스누설 경보기 등으로 구성되어 있다.

3. 안전성 평가

가스시설물에서 발생할 수 있는 사고 중 가장 중요한 사고는 가스 누출 및 이로 인한 화재/ 폭발사고라 할 수 있다. 그리고 가스의 누출사고는 그 규모 및 누출사고 발생시의 파급효과를 고려하여 대규모 누출과 소규모 누출의 두 가지로 구분할 수 있다. 실내에서 누출시 정상대응에도 불구하고 가스농도가 폭발범위에 이를 수 있는 누출을 대규모누출, 그 외의 누출을 소규모누출로 정의하고 이에 근거하여 가스 공급

및 처리 설비 내 직경 3/4인치 (1.905cm)이하의 파손으로 인한 가스의 누출을 소규모 누출로, 직경 3/4인치 이상의 파손으로 인한 가스 누출을 대규모 누출로 정의하였다.

대규모 가스 누출은 가스를 공급하는 배관 또는 설비의 대규모 파손으로 가스의 대량누출이 발생하거나, 압력안전밸브가 열린 후 다시 닫히지 않아 가스가 다량으로 누출되는 경우 등을 의미한다. 소규모 가스 누출은 가스시설물내 어떤 설비에서 가스의 소규모 누출이 발생하며 실제적으로 화재/폭발에 이르기 위하여 많은 시간이 소요되는 경우를 뜻하며 화재 및 폭발은 가스가 누출되었을 때 가스의 농도가 발화농도에 달하여 인근의 점화원에 의해 화재/폭발이 유발되는 경우이다.

본 연구에서는 설비에 치명적인 영향을 주는 대규모 누출에 대하여 고찰하였다.

3.1 대규모 누출 사건추이도(Event Tree)

가스시설물내 배관 또는 설비가 파손되어 가스가 대량으로 누출되는 사건, 즉 대규모 누출이 발생할 수 있다. 이러한 초기사건이 발생하였을 때 생각할 수 있는 사고는 장기간 및 단기간 대규모 누출, 소규모/대규모의 화재나 폭발 등을 고려할 수 있으며 이들은 초기사건에 대처하는 방법들의 성공 유무에 의하여 발생빈도가 결정된다. 각 가스시설물의 특성에 따라 다르지만 일반적으로 전원공급중단과 비상정지 스위치(ESD), 운전원의 대응, 환기 시스템의 가동과 점화원의 유무 등에 의하여 초기사건은 그림 1과 같이 전개된다. 전원공급중단과 비상정지 스위치의 작동, 환기시스템의 가동과 점화원의 유무는 다시 FTA기법으로 상세하게 분석하여 발생확률을 계산하였으며 운전원의 대응은 HRA기법을 사용하여 분석하였다.

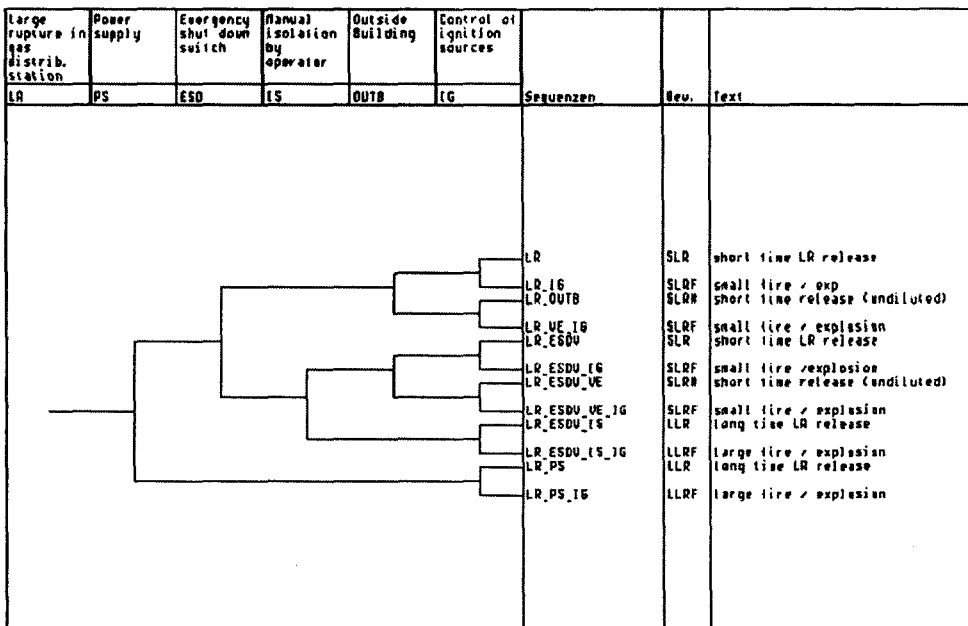


Fig 1. Event Tree of Large Rupture.

3.3 대규모 누출 사고(FTA)

본 장에서는 대규모 누출사고가 일어나는 경로와 빈도를 FTA기법을 사용하여 분석하였다. 대규모 누출사고 (Large Rupture : LR)를 Top Gate로 하고 이는 다시 외부사건과 내부사건으로 크게 나누었으며 외부사건은 다시 타공사, 자연재해, 사보타지(Sabotage), 기타사고로, 내부사건은 운전시 대규모 누출, 유지보수시 대규모 누출로 나누었다. 외부사건의 요소를 보면 지진, 강풍, 홍수 등의 자연재해, 사보타지(Sabotage), 자동차사고(도로옆 시설물)등의 세부적인 요소들도 고려했으며 주변공사에 의한 사고확률등을 고려하였다. 내부사건으로는 다시 보수시의 LR와 운전시의 LR로 나누었으며 보수시의 LR은 지금까지의 경험 data를 사용하였다. 즉, 시설물들의 총 운행 년수동안 관찰된 LR로 가능성을 구하였다. 세부적으로 살펴보면 valve의 고장, filter의 고장과 pipe의 고장등 주 부품의 개수와 고장율값을 곱하여 계산하였다. 또한 각 여러 부품으로 구성된 부품에 대하여는 세부적인 FT를 작성하여 전체 고장율값을 계산하여 사용하였다.

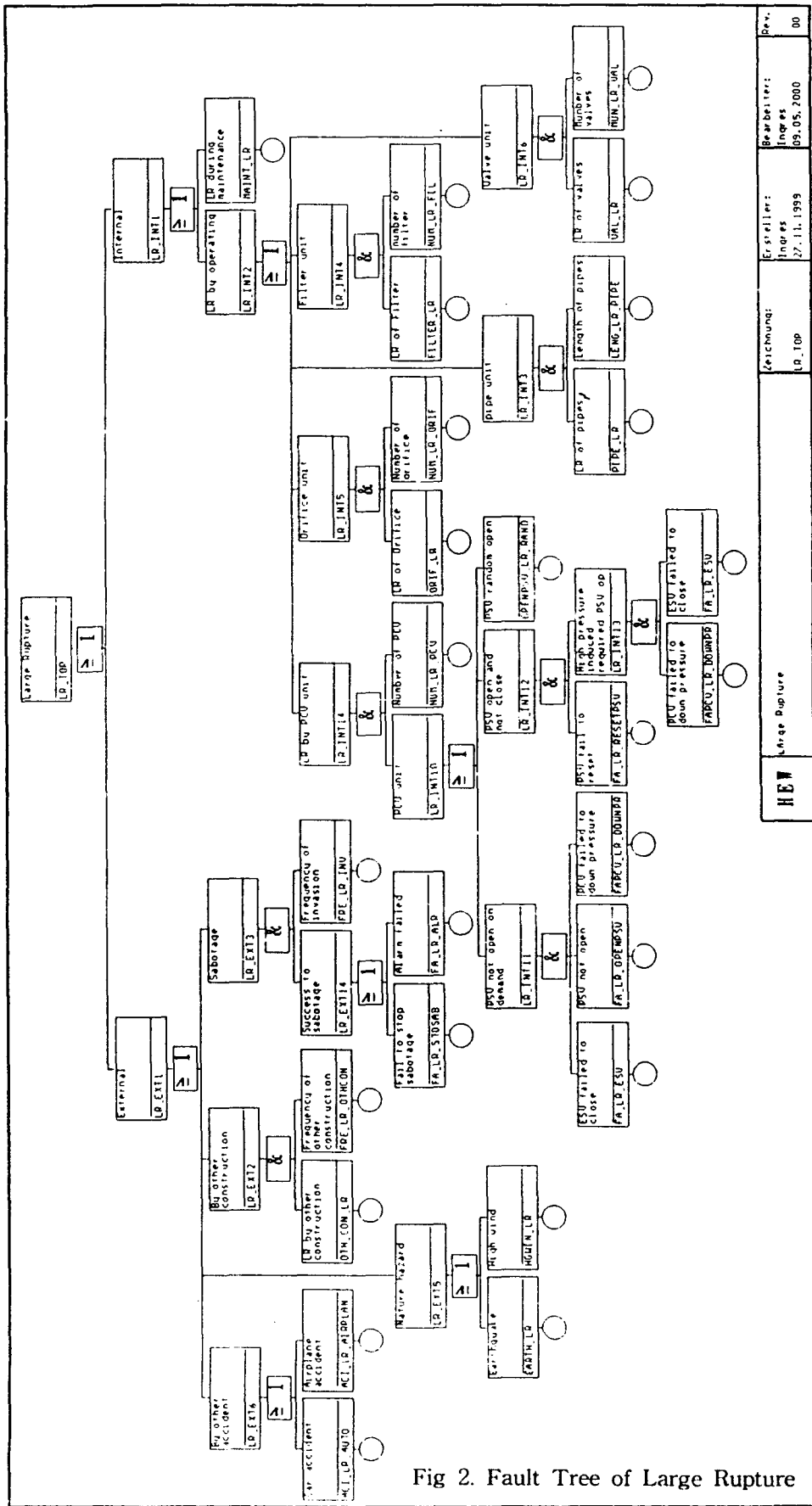


Fig 2. Fault Tree of Large Rupture

HEW	Large Rupture		Erstellen: Ingres	Gezeichnet: LP_TOP	Geändert: Ingres	Rev. 00
	27.11.1999	09.05.2000				

3.5 신뢰도 data의 수집 및 사용

본 연구에 사용되어진 신뢰도 data는 일차로 가스설비 운전중 발생하는 고장을 기록 정리한 Trouble Memo(T/M)를 중심으로 정리하여 사용하였으며 부족한 신뢰도 data는 국외가스설비 신뢰도 data, 국내화학공장의 신뢰도 data, 국내의 원자력 발전소의 신뢰도 data 순으로 적용하여 구하였다.

또한 가스설비의 신뢰도 data중 사고관찰수가 충분치 않은 data는 국내의 일반 data와 Bayesian기법을 사용하여 가스설비와 일반 data 모두를 고려한 신뢰도 수치를 구한후 계산하였다.

4. 결론

본 연구를 통하여 가스설비의 정량적 평가를 다음과 같이 시행하였다.

- 대규모 누출이라는 사건이 발생시 “전원공급중단”, “비상정지스위치 작동”, “운전원의 대응”, “환기시스템의 가동”, “점화원의 유무” 순으로 ETA기법을 사용하여 사건전개를 분석하였으며 각각의 사건에 대하여 다시 FTA와 HRA기법을 사용하여 상세하게 발생빈도를 고려하였다.
- 또한 대규모 누출이라는 사건을 Top gate로 하여 FTA기법을 사용하여 가스설비의 구조를 고려한 정량적 평가를 수행하였다.
- 이에 필요한 신뢰도 data를 T/M을 중심으로 수집하고 해외가스설비, 국내의 화학공장, 국내의 원자력 발전소의 신뢰도 data를 사용하였으며 일부는 공학적 판단을 사용하였다.
- T/M을 중심으로 한 specific data와 일반 신뢰도 data가 존재시 Bayesian 기법을 사용하여 이들 모두를 고려하였다.
- 또한 운전원 근무자수나 안전설비의 유/무시 변하는 신뢰도값을 조사한 민감도 분석도 시행하였다.
- 위의 단계를 거쳐 가스설비에서 대규모 가스누출의 발생빈도를 계산할 수 있었으며 안전투자등의 우선순위 결정, 보수정책 결정등의 참고자료로 활용할 수 있었다.

<참고문헌>

- (1) CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY of the American Institute of Chemical Engineers. “GUIDELINES FOR PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA WITH DATA TABLES”
- (2) J.R.TALOR Taylor associate Aps GlumsØ Denmark . “Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport”
- (3) Henri PROCACCIA, Spyros P. ARSENIS, Patrick AUFORT, Preface by G.VOLTA. “EUROPEAN INDUSTRY RELIABILITY DATA BANK EIREeDA”, 1998

- (4) The TUD Office, Studsvik Eco Safety AB and POERN Consulting. "Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants" 4th edition.
- (5) FINAL REPORT(March 1980 - June 1981) Gas Research Institute 8600 West Bryn Mawr Avenue Chicago, Illinois 60631. "DEVELOPMENT OF AN IMPROVED LNG PLANT FAILURE RATE DATA BASE"
- (6) 한국가스공사, "인수기지 방재시스템 진단 및 평가에 관한 연구(Evaluation of the LNG Receiving Terminal on the Risk, Hazard and Operability) 최종보고서"
- (7) 한국에너지연구소, "多目的 研究爐의 ET/FT 分析"
- (8) 한국산업안전공단, "국내 화학공장 설비 및 기기에 대한 신뢰도 데이터베이스 구축 (Equipment Reliability Database for Chemical Plant)"
- (9) 한국가스공사, 서울산업대학교, "한국가스공사 가스밸브기지 위험성 평가(보수시 인적오류 분석과 보수절차서 개선을 중심으로)"
- (10) 한국가스공사, "한국가스공사 가스공급배관 및 설비의 안전성 평가"
- (11) NDS 4/RH, "독일 Brunsbuettel 원자력발전소 안전성 평가보고서", 1994
- (12) 한국가스공사 연구개발원 안전방재연구실, "정압동환기시스템 재검증 결과보고서", 1993
- (13) A.D. Swain, NUREG/CR-1278, "Handbook of Human-Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications", 1983
- (14) IEEE, " IEEE Std 500 Reliability Data"