

도시가스 밸브스테이션의 정량적 위험성 평가

최성준, 김효
서울시립대학교 공과대학 화학공학과

A Study on the Quantitative Risk Assessment of Natural Gas Valve Stations

Sung Joon Choi, Hyo Kim
Dept. of Chem. Eng., University of Seoul

서론

천연가스공급설비에 있어 시설의 적절한 교체주기를 찾아내거나 발견된 문제점에 대해 합리적인 해결방안을 결정하는 것이 중요한 문제이며 이와같은 가스사고를 줄이고 미연에 방지하기 위하여 적절한 방법으로 공급기지에 대한 설비의 Probability를 계산함에 의하여 국부적으로 위험한 곳을 인지, 발견할 수 있고 더불어 이에 대한 보완책을 제시함이 필요하다고 할 수 있다. 여기에서는 fault tree analysis의 mcs(minimal cut set)를 이용하여 서울의 임의의 지점으로 두 곳을 설정하여 정상사상(top event)으로서 밸브기지의 소규모 누출, 대규모 누출을 설정하여 각각의 값을 알아보았다.

본론

1. 확률이론개요

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

만약, $\lambda t \ll 1$ 이면 $\exp(-\lambda t) = (1 - \lambda t)$ 이고, $F(t) = \lambda t$ 가 된다.

시간 t에서 $P(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ 가 되고, failure rate(λ)가 적으면, $P(t) = \lambda t$ 가 된다.

여기서, R(t) : reliability function F(t) : failure distribution function

λ : failure rate P(t) : probability of failure in time t

보통 R과 P가 fault tree의 신뢰도를 계산하는데 사용된다.

2. 일반데이터 정의 및 기기고장을 설정

개요: 밸브기지의 소규모누출은 천연가스공급 및 처리설비 내 직경 1인치 배관의 파손에 해당하는 크기의 손상으로 인한 천연가스의 누출까지를 말하고, 그 이상의 손상으로 인한 천연가스 누출을 대규모 손상으로 정의하였고, 화재/폭발사고는 소규모 또는 대규모로 천연가스가 누출되었을 때 천연가스의 농도가 발화농도에 달하여 인근의 점화원에 의해 화재/폭발이 유발되는 경우를 의미한다.

고장수목데이터에 사용되는 EVENT의 정의

- CONSTR: 밸브기지내 설비 보강공사, 설비교체공사 등 각종공사를 시행하는 중의 실수로 인해 설비가 파손될 가능성
- EXTERN: 지반침하, 지진, 홍수, 태풍, 화재 등 외부사건에 의해 설비가 파손될 가능성 (밸브기지 설치 위치와 관계됨)
- HIGHPR: 밸브기지내 압력안전밸브가 열려야 할 정도의 고압이 형성될 가능성
- HPTOLR: 고압 형성시 압력안전밸브가 열리지 않거나 압력안전밸브가 없어 과압이 유발되어 설비가 파손될 가능성

- LRHE01: 사보타지 목적의 침입자가 밸브기지 내부로 침입하였을 때 운전원에 의한 침입자의 퇴치 실패 가능성
- LRHE02: 밸브기지내 설비에 대한 보수작업중 보수원 또는 운전원의 과실로 인해 설비가 파손될 가능성
- MAINT: 밸브기지에서 설비보수를 시행할 가능성을 의미하며 보수작업중의 실수로 인한 설비파손을 고려하기 위한 것이다.
- PSVFTO: 압력안전밸브가 열려야 할 때 열리지 않을 가능성을 의미하며 밸브기지마다 설치된 압력안전밸브의 개수가 다르므로 데이터가 달라진다.
- PSVFTR: 압력안전밸브가 열린 후 압력감소에 따라 밸브가 닫혀야 할 때 다시 닫히지 않을 가능성
- SABOTA: 사보타지 목적의 침입자가 밸브기지 내부로 들어올 가능성을 의미하며 밸브기지의 위치에 따라 달라진다. 지상에 위치한 경우가 지하에 위치하면서 그 출입구가 하나인 밸브기지 보다 취약하다.
- SECURI: 사보타지 목적의 침입자가 밸브기지 내부로 들어왔을 때 외부침입 감지기 또는 폐쇄회로 TV의 고장으로 침입사실을 운전원이 인식하지 못할 가능성
- HPTOSL: HPTOLR과 동일하나 소규모 누출의 경우
- LK-FIL(필터), HTR(히터), PCV(조정기), MTR(계량설비), STK(방산탑): 밸브기지 설비내부의 몇 개의 중요부분에서 소규모 가스가 누설될 가능성
- SLHE01: 밸브기지에서 설비보수를 위해 배기밸브(purge valve)또는 드레인밸브를 열고 작업후 이를 닫지 않고 운전을 다시 시작함으로써 소규모 누출이 발생할 가능성

3. 밸브기지별 구성기기

기지명	기 기 갯 수											
	FIL	HTR	PCV	ESV	MOV	PVA	FOR	PSV	XVA	IJO	IVA	INS
DC	3	2	4	4	29	55	5	5	33	5	59	58
DS	1	0	2	0	17	17	3	1	20	2	25	24

※FIL(필터), HTR(히터), PCV(조정기), ESV(비상정지밸브), MOV(전동조작밸브), PVA(배기밸브), FOR(계량오리피스), PSV(압력안전밸브), XVA(수동밸브), IJO(절연조인트) IVA(계기밸브), INS(계기)

4. MCS(minimal cut set)의 이용

- step 1: fault tree에 있는 모든 게이트와 기본사건들을 잘 배열한다.
- step 2: 모든 게이트를 기본사건에 맞게 분해한다. 이는 matrix 형태로 된다.
 - or gate rule - 열(column) 방향으로 기입하되, 이미 존재하는 입력항 들은 반복하여 기입한다.
 - and gate rule - 행(row) 방향으로 기입하되, 이미 존재하는 입력항 들은 같은 행의 우측 공란으로 옮겨 기입한다.
 이를 반복하면 기본사상(basic event) 들로만 구성되는데, 이를 cut set 이라한다.
- step 3: 각 cut set에서 중복되는 사건은 제거한다.
- step 4: super set에 해당하는 cut set을 제거하면 minimal cut set이 된다.

5. MCS를 이용한 정량적 평가

- DC VALVE STATION의 소규모 누출

event list	probability	MCS MATRIX			MCS RESULTS
1: HIGHPR	0.4647	3			0.4373
2: HPTOSL	0.1175	9			0.0124
3: LK-FIL	0.4373	1	2	10	1.7E-13
4: LK-HTR	0.2404	4			0.2404
5: LK-MTR	0.5157	5			0.5157
6: LK-PCV1	0.4512	6			0.4512
7: LK-PCV2	0.6181	7			0.6181
8: LK-STK	0.1285	8			0.1285
9: SLHE01	0.0124	TOP EVENT PROBABILITY			2.4036
10: PSVFTO	3.09E-12				

- DS VALVE STATION의 소규모 누출

event list	probability	MCS MATRIX			MCS RESULTS
1: HIGHPR	0.4647	3			0.3212
2: HPTOSL	0.1175	7			0.0124
3: LK-FIL	0.3212	1	8	2	2.7E-4
4: LK-MTR	0.4230	4			0.4230
5: LK-PCV1	0.3041	5			0.3041
6: LK-STK	0.0952	6			0.0952
7: SLHE01	0.0124	TOP EVENT PROBABILITY			1.1562
8: PSVFTO	0.0050				

-DC VALVE STATION의 대규모 손상

event list	probability	MCS MATRIX			MCS RESULTS
1: CONSTR	0.4647	9			0.0062
2: EXTERN	0.1175	1			0.0025
3: LRHE01	0.3212	2			0.0012
.	.	.			.
.	.	TOP EVENT PROBABILITY			0.0188
.	.				

-DS VALVE STATION의 대규모 손상

event list	probability	MCS MATRIX			MCS RESULTS
1: CONSTR	0.0124	9			0.0012
2: EXTERN	0.0012	1			0.0124
3: LRHE01	0.0246	2			0.0012
.	.	.			.
.	.	TOP EVENT PROBABILITY			0.0230
.	.				

결과 및 고찰

1. Quantitative risk analysis of fault tree in terms of V/S

VALVE STATION	LARGE RUPTURE	SMALL LEAKAGE
	PROBABILITY	PROBABILITY
DC	0.0188	2.4036
DS	0.0230	1.1562

2. DC의 소규모 누설은 2.4로 나타났으며 이는 일년에 두 번이상 발생할 수 있음을 의미하고, 대규모 누출은 0.0188로 나타났는데 이는 50년에 한번 정도 대규모 손상이 발생할 수 있음을 지적한다. DS는 DC에 비해 소규모 누설은 적으나 대규모 손상의 경우는 더 큰값을 갖는다.

참고문헌

1. "IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear Power Generating Stations", IEEE std-500-1984, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, inc., Nov. 1993.
2. "Guidelines for Process Equipment Reliability Data", Center for Chemical Process Safety, 1989.
3. Bob Skelton, "Process Safety Analysis an Introduction", Gulf Publishing Company ,1997.
4. 차영환: "도시가스 밸브기지를 중심으로 한 설비신뢰도 분석 및 위험성 평가", 서울시립대학교 석사학위논문 (2000).

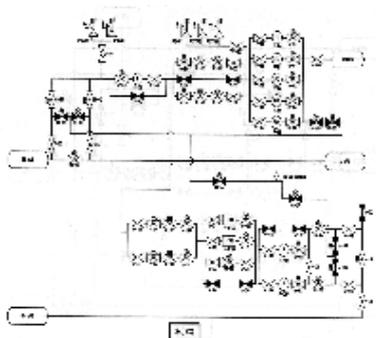


Fig1. DC V/S P&ID.

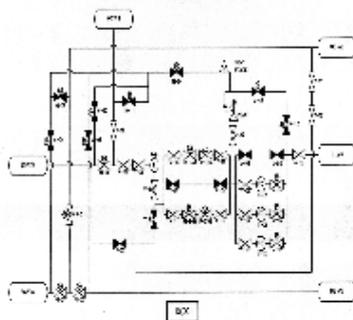


Fig2. DS V/S P&ID.

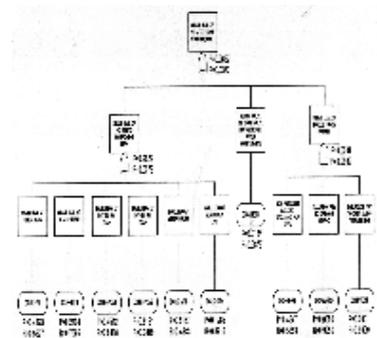


Fig3. small leakage DC.

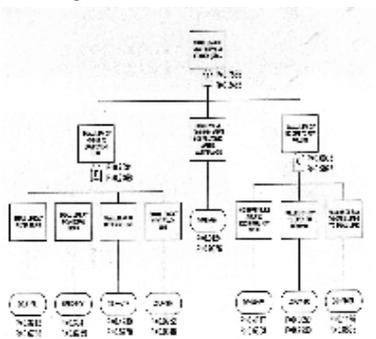


Fig4. small leakage DS.

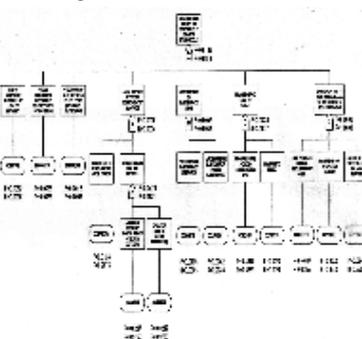


Fig5. large rupture DC.

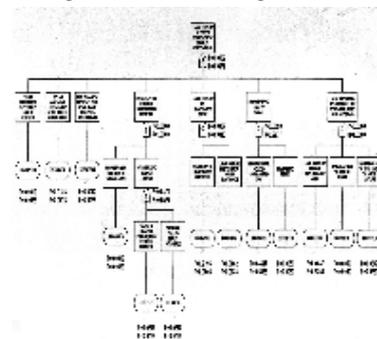


Fig6. large rupture DS.