

천연가스 공급설비에 대한 기기신뢰도 분석 및 위험성 평가 A Study on the Reliability Analysis and Risk Assessment of Liquefied Natural Gas Supply Utilities

고재선[†] · 김 호

Jae-Sun Ko[†] · Hyo Kim

서울시립대학교 화학공학과
(2002. 11. 7. 접수/2003. 2. 21. 채택)

요 약

천연가스는 서울에서 새로운 도시가스로서 지하배관망과 밸브스테이션을 통하여 공급되어 왔다. 그러나 천연가스는 편리함과 대조적으로 운송시스템의 오류 또는 부주위한 취급으로부터 화재 및 폭발을 야기할 수 있는 매우 실제적인 잠재위험성을 가지고 있다. 따라서 이 연구의 주요 목적은 전형적인 배관망을 구성하는 공급설비의 신뢰성을 평가한 후 주요 잠재위험성의 확인 및 위험성평가를 수행하는 것이다. 본 연구에서는 Fault Tree Analysis와 Event Tree Analysis에 의해 서울의 임의의 지점 두 곳을 설정하여 최종적인 단계(top event)로서 밸브기지의 소규모 누출과 대규모 누출, 각 도시가스회사로의 천연가스공급중단을 설정하여 각각에 대한 발생빈도의 값을 알아보았다. 그 결과 소규모 누출시 DC, DS 밸브기지에 대하여 각각 3.29, 1.41의 값으로 나타났으며, 대규모 누출에 대하여는 1.90×10^{-2} , 2.32×10^{-2} , 또한 도시가스회사로의 천연가스공급중단에 대한 각각의 기지에 대한 수치는 2.33×10^{-2} , 2.89×10^{-2} 로 나타났다. 또한 단위 지역 공급설비에 대한 전체적인 신뢰도와 기기별 신뢰도의 계산함으로써 기기와 공급망간의 상호관계성의 인식과, 전체 설비 중에서 중요한 부분과 좀더 강조되어야 할 부분을 찾아내기 위해 Minimal Cut Set 방법을 사용한 결과, DC 밸브기지의 경우, 기기단위별로는 6, 7, 26, 27 등이 취약함을 보여주고 있으며, 또한 basic event 26, 27의 조합으로 인한 천연가스공급중단의 위험이 가장 크므로 이 부분에 대해서 하나의 라인이 병렬로 추가되어야만 좀더 안정적이고 위험부담이 적은 시스템으로 운영할 수 있다. 이러한 경우 공급중단의 고장율이 1/4로 줄어드는 효과를 가지게 된다. DS 밸브기지의 경우, basic event 4가 천연가스공급중단의 원인의 92%를 차지하고 있다. 그러므로 이 부분의 portion을 낮추준다면 전체의 고장율도 낮춰질 수가 있고 이 부분에 같은 종류의 라인을 추가로 설치하면 고장율이 약 1/10로 줄어드는 효과를 보게 된다. 또한 기기단위별로는 6, 7, 26, 27 등이 가장 취약한 것으로 나타났다. 이 부분에 대해서는 안전장치나 설비를 추가로 갖추거나, 혹은 점검기간의 주기를 줄이도록 하는 것이 필요하다. 향후 본 연구에서 다루어진 신뢰도 측정방법을 각 공급설비에 대해 적용 한다면 좀 더 효율적으로 공급설비의 신뢰도를 계산, 분석할 수 있고, 천연가스공급설비의 안전성 향상에 도움이 될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Natural gas has been supplied through underground pipelines and valve stations as a new city gas in Seoul. In contrast to its handiness the natural gas has very substantial hazards due to fires and explosions occurring from careless treatments or malfunctions of the transporting system. The main objectives of this study are to identify major hazards and to perform risk assessments after assessing reliabilities of the composing units in dealing with typical pipeline networks. therefore two method, fault tree analysis and event tree analysis, are used here. Random valve stations are selected and considered its situation in location. The value of small leakage, large rupture, and no supply of liquefied natural gas is estimated as that of top event. By this calculation the values of small leakage are 3.29 in DC valve station, 1.41 in DS valve station, those of large rup-

[†] E-mail: 119kjs@hanmail.net

ture are 1.90×10^{-2} in DC valve station, 2.32×10^{-2} in DS valve station, and those of no supply of LNG to civil gas company are 2.33×10^{-2} , 2.89×10^{-2} in each valve station. And through minimal cut set we can find the parts that is important and should be more important in overall system. In DC valve station one line must be added between basic event 26, 27 because the potential hazard of these parts is the highest value. If it is added the failure rate of no supply of LNG is reduced to one fourth. In DS valve station the failure rate of basic event 4 is 92% of no supply of LNG. Therefore if the portion of this part is reduced (one line added) the total failure rate can be decreased to one tenth. This analytical study on the risk assessment is very useful to prepare emergency actions or procedures in case of gas accidents around underground pipeline networks and to establish a resolute gas safety management system for loss prevention in Seoul metropolitan area.

Keywords : Reliability, Failure rate, Valve station, Fault tree, Event tree, Minimal cut set

1. 서 론

서울시 내에는 천연가스 공급을 위한 지하 배관망이 환상의 형태로 이루어져 있고, 가스압력과 유량을 제어하기 위한 공급기지가 수십 개에 이르고 있어 도시 가스 누출에 의한 사고의 잠재위험성이 매우 높다.

따라서 천연가스 공급설비를 효과적으로 관리함으로써 설비를 안정적으로 운영하고 또 이 설비들이 내포한 위험성 및 공급중단의 가능성을 체계적이고 종합적으로 평가하는 기법을 마련하는 것이 시급하다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 사고발생시 그 사건결과(Consequence)의 파급과 피해의 심각성(Severity)을 줄이기 위한 것으로 사고가 발생할 수 있는 잠재위험지역과 사고시 피해를 받을 수 있는 인원을 최소화 시키는데 그 목적이 있다. 이를 위해서는 특히 발생가능한 사고의 발생빈도(Frequency)를 최소화 시켜야만 한다. 따라서 천연가스공급설비에 있어 안전성 제고에 가장 중요한 요소로 시설의 적절한 교체주기를 찾아내거나 발견된 문제점에 대해 합리적인 해결방안을 모색하는 것이 중요하다. 이를 위한 적절한 방법으로 공급기지에 대한 설비신뢰도를 계산함으로써 국부적으로 위험한 곳을 인지, 발견할 수 있고 더불어 이에 대한 적절한 안전대책을 마련할 수 있다

사고빈도의 계산결과는 일반적인 정량적 위험성평가에서 매우 중요하고, 사고빈도를 계산하기 위해서는 기기나 설비의 각각의 고장률 데이터가 필요하다. 새로운 천연가스 공급 설비의 위험성평가를 위해서는 다른 천연가스설비에서 수집한 기존의 기기고장률의 데이터(Generic Data)를 선별하여 이용할 수 있다. 천연가스가 누출되는 사고는 크게 내부적인 요인과 외부적인 요인에 의한 것으로 나눌 수 있다. 이 중 내부적인 요인은 주로 인적오류(human error)와 기기고장에 의한 것이기 때문에 외부적인 요인(지진, 태풍, sabotage)보

다 적절한 관리와 조치를 취하면 가스누출의 발생빈도를 크게 줄일 수 있어 안전한 설비운영을 위해서는 이에 대한 체계적인 분석이 필요하다.

이를 위하여 먼저 천연가스 공급설비에서 발생하는 안전사고의 직접적인 원인이 되는 기기고장에 대한 분석을 효과적으로 수행하여야 하는데 본 연구에서는 고장수목분석법(fault tree analysis) 및 사건수목분석법(Event tree Analysis)을 이용하였으며 특히 고장수목에서는 예상되는 최종사고(top event)를 발생시키는 기기고장의 유형을 연역적으로 분석하는 기법으로 Boolean Logic(AND, OR gate)을 사용하여 사고를 발생시키는 기기고장의 종류를 추적하여 분석하였으며 최종 예상사고에 도달하는 사고의 조합은 고장수목분석 결과인 cut set으로 구성하였다.

또한 본 연구에서는 천연가스 공급설비의 기기고장으로 발생될 수 있는 사건에 대한 각 구성 설비의 고장확률과 신뢰도를 위한 계산은 기존의 참고문헌(The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Standard 500-1984,²⁾ Guidelines for Process Equipment Reliability Data³⁾)들을 활용하여 평균고장시간(MTBE)에 대한 데이터를 수집 분석하여 적용하였다. 이러한 분석방법은 아직까지는 천연가스 공급시설의 형식사양에 따라 분류를 할 정도로 데이터가 축적되어 있어 있지만 기본적인 위험성분석을 수행하는데 활용한다면 설비이용의 안정성을 확보할 수 있다.

2. 도시가스 공급설비의 구체적 신뢰도 분석을 위한 대상 선정 및 도식화

2.1 밸브기지별 구성기기

밸브기지에서의 천연가스 누설에 관한 고장율데이터를 도출하기 위한 각 밸브기지의 기기별 구성 갯수와 기기번호는 Table 1과 같다.

Table 1. Component Equipments composed in a valve station

기기명	기기갯수											
	FIL	HTR	PCV	ESV	MOV	PVA	FOR	PSV	XVA	IJQ	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(Filter), HTR : 히터(Heater), PCV : 압력조정밸브(Pressure Control Valve), ESV : 비상정지밸브(Emergency Shutdown Valve), MOV : 전동조작밸브(Motor Operated Valve), PVA : 배기밸브(Purge Valve), FOR : 계량오리피스(Flow Orifice), PSV : 압력안전밸브(Pressure Safety Valve), XVA : 수동밸브(Manual Valve), IJO : 절연조인트(Instrument Joint), IVA : 계기밸브(Instrument Valve), INS : 계기(Instrumentation).

Table 2. Generic Database

Name	Description	Prior Mean	Mean	5th%	Median	95th%	Reliability
CLESV	ESV TRANSFERS CLOSED DURING A YEAR	N/A	1.21E-01	3.26E-02	9.70E-02	2.88E-01	0.886034
CLFIL	FILTER PLUGGED DURING A YEAR	N/A	2.75E-02	7.40E-03	2.20E-02	6.54E-02	0.972875
CLFOR	FLOW ORIFICE TRANSFERS CLOSED DURING A YEAR	N/A	1.25E-03	3.36E-04	1.00E-03	2.97E-03	0.998751
CLMOV	MOV TRANSFERS CLOSED DURING A YEAR	N/A	1.50E-03	4.04E-04	1.20E-03	3.57E-03	0.998501
CLPCV	PCV TRANSFERS CLOSED DURING A YEAR	N/A	3.50E-02	9.42E-03	2.80E-02	8.33E-02	0.965605
CLXVA	MANUAL VALVE TRANSFERS CLOSED DURING A YEAR	N/A	2.50E-04	6.73E-05	2.00E-04	5.95E-04	0.99975
CONSH	LARGE RUPTURE BY CONSTRUCTION ERROR(HIGH)	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
CONSL	LARGE RUPTURE BY CONSTRUCTION ERROR(LOW)	N/A	2.50E-03	6.73E-04	2.00E-03	5.95E-03	0.997503
CONSM	LARGE RUPTURE BY CONSTRUCTION ERROR(MEDIUM)	N/A	6.25E-03	1.68E-03	5.00E-03	1.49E-02	0.993769
EXTEH	LARGE RUPTURE BY EXTERNAL EVENT(HIGH)	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
EXTEL	LARGE RUPTURE BY EXTERNAL EVENT(LOW)	N/A	1.25E-03	3.36E-04	1.00E-03	2.97E-03	0.998751
EXTEM	LARGE RUPTURE BY EXTERNAL EVENT(MEDIUM)	N/A	6.25E-03	1.68E-03	5.00E-03	1.49E-02	0.993769
HE01H	OPERATOR FAILS TO DEFEAT INTRUDER(HIGH)	N/A	1.25E-01	3.36E-02	1.00E-01	2.97E-01	0.882497
HE01L	OPERATOR FAILS TO DEFEAT INTRUDER(LOW)	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
HE01M	OPERATOR FAILS TO DEFEAT INTRUDER(MEDIUM)	N/A	2.50E-02	6.73E-03	2.00E-02	5.95E-02	0.97531
HE02H	MAINTENANCE ERROR LEADING TO LARGE RUPTURE(HIGH)	N/A	6.25E-03	1.68E-03	5.00E-03	1.49E-02	0.993769
HE02L	MAINTENANCE ERROR LEADING TO LARGE RUPTURE(LOW)	N/A	1.25E-03	3.36E-04	1.00E-03	2.97E-03	0.998751
HIGHH	HIGH PRESSURE INDUCED(HIGH)	N/A	6.25E-01	1.68E-01	5.00E-01	1.49E+00	0.535261
HIGHL	HIGH PRESSURE INDUCED(LOW)	N/A	6.25E-02	1.68E-02	5.00E-02	1.49E-01	0.939413
LKESV	ESV LEAK RATE	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
LKFIL	FILTER LEAK RATE	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
LKFOR	FLOW ORIFICE LEAK RATE	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
LKHTR	HEATER LEAK RATE	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578
LKIJO	INSULATION JOINT LEAK RATE	N/A	1.25E-02	3.36E-03	1.00E-02	2.97E-02	0.987578

2.2 분석대상 밸브기지의 단순계통도(Simplified P&ID)

3. 공급설비 신뢰도 계산

3.1 사고의 분류

밸브기지에서 발생할 수 있는 주요 사고는 천연가스 누출 및 그로 인한 화재/폭발사고와 천연가스 공급중단으로 구분될 수 있다. 그리고 천연가스의 누출사고는 그 규모 측면에서 대규모 누출과 소규모 누출의 두

가지로 구분할 수 있다. 천연가스공급 및 처리설비 내 직경 1인치(2.54 cm)배관의 파손에 해당하는 크기의 손상으로 인한 천연가스의 누출까지를 소규모 누설로 정의하고, 이 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. 그리고 천연가스 공급중단은 천연가스의 사용처인 도시가스회사에로의 천연가스 공급이 불시에 중단되는 경우를 의미한다.

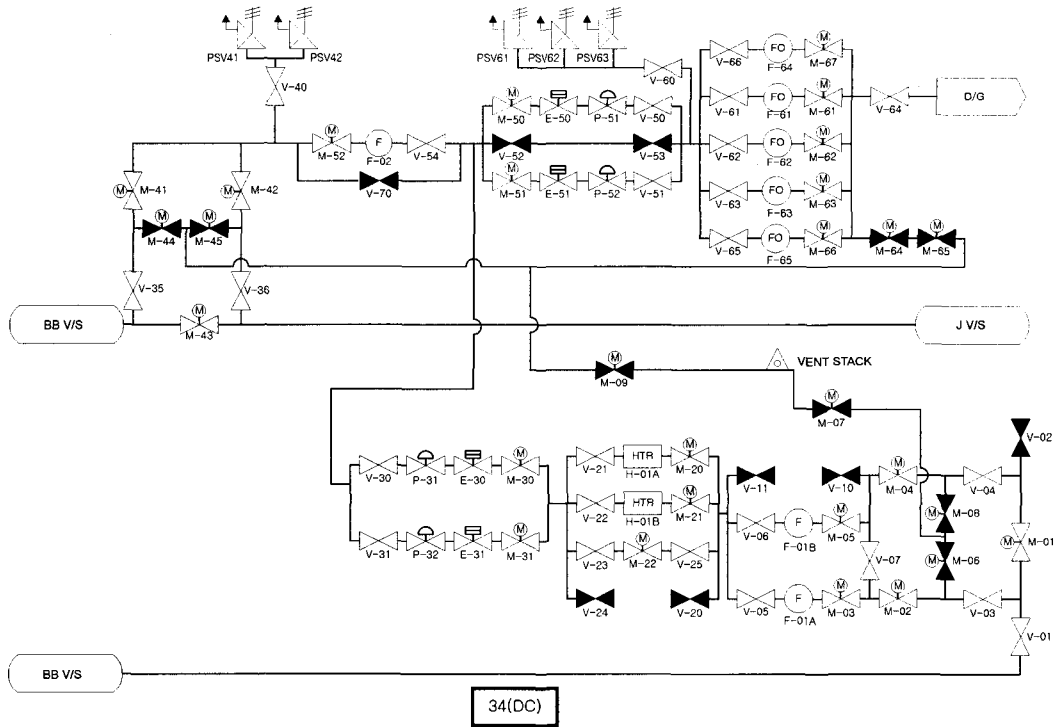


Fig. 1. Simplified P&ID DC valve station.

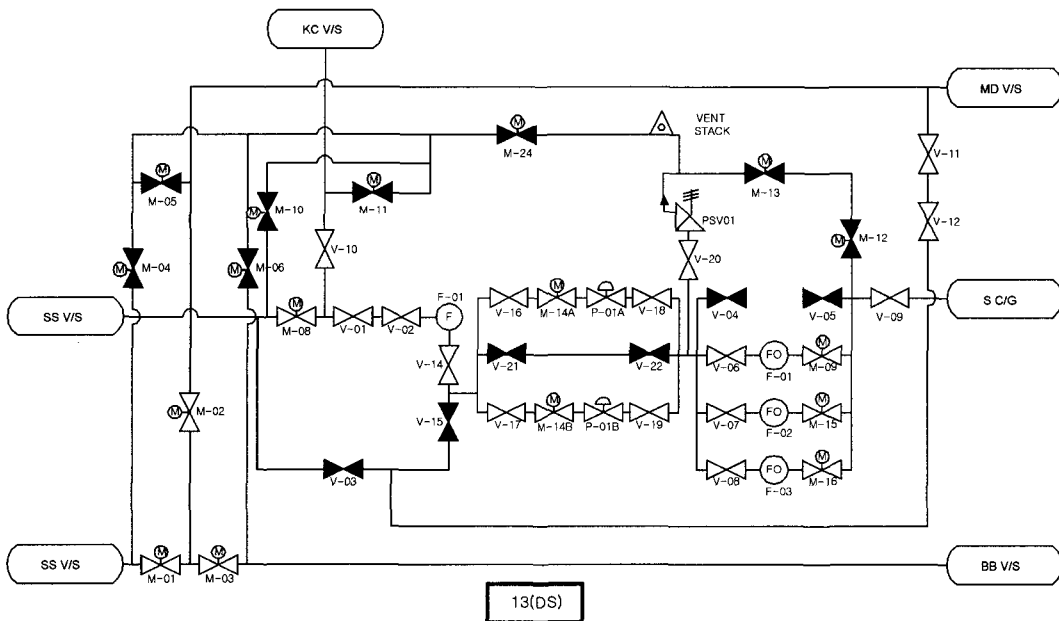


Fig. 2. Simplified P&ID DS valve station.

3.2 누출고장수목

3.2.1 소규모누출 고장수목

공급기지의 소규모 누출 고장 수목은 Fig. 3(DC V/S), Fig. 4(DS V/S)와 같고 소규모 천연가스 누설사건의 발생원인을 보면 다음과 같다.

3.2.2 대규모 누출고장수목

공급기지의 대규모 누출 고장 수목은 Fig. 5(DC V/S), Fig. 6(DS V/S)와 같으며 그 발생원인을 보면 다음과 같다.

3.2.3 천연가스 공급중단 고장수목

공급기지의 천연가스 공급중단 고장 수목은 Fig. 7

(DS V/S) 그 발생원인을 보면 다음과 같다.

3.2.4 Minimal Cut Set

3.3 사건 수목

3.3.1 대규모 누출사건

공급기지의 대규모 누출 사건의 발전단계에서 보면 각 사건들에 대한 저지(Prevention)를 실패할 연간 발생빈도는 다음과 같이 산정하였다.

- 긴급차단 밸브 작동 실패 = 0.5
- 운전자의 손상부위 긴급차단 실패 = 0.1
- 가스 농도의 연소범위 도달 = 0.2(지상), 0.9(지하)

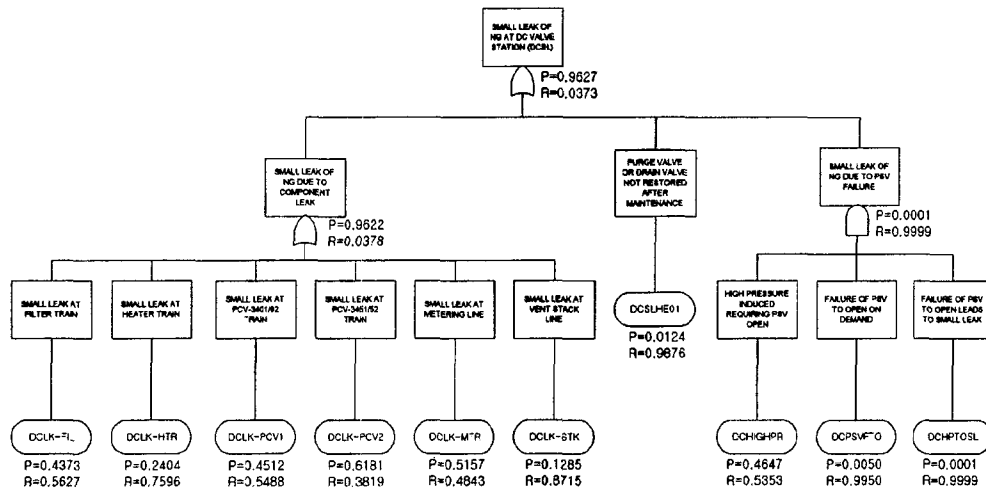


Fig. 3. Fault tree for small leakage at DC V/S.

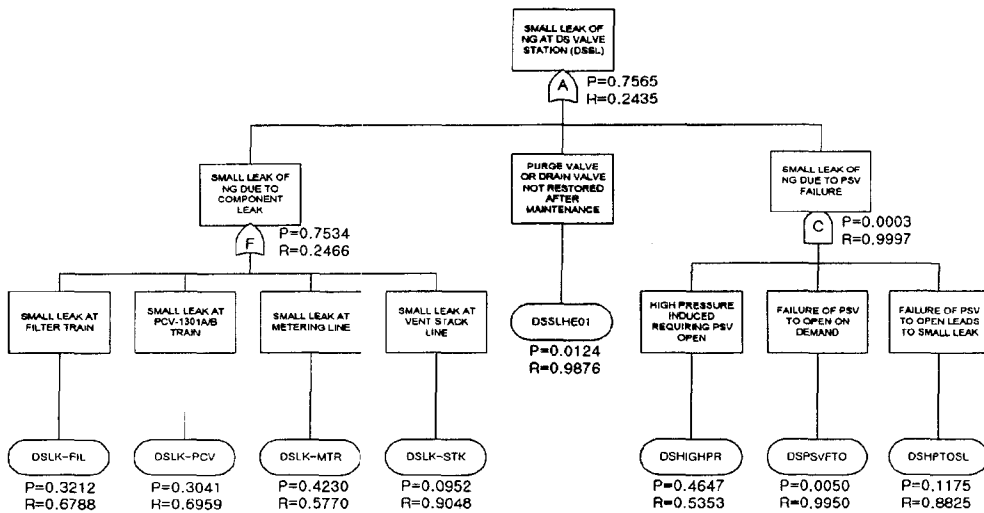


Fig. 4. Fault tree for small leakage at DS V/S.

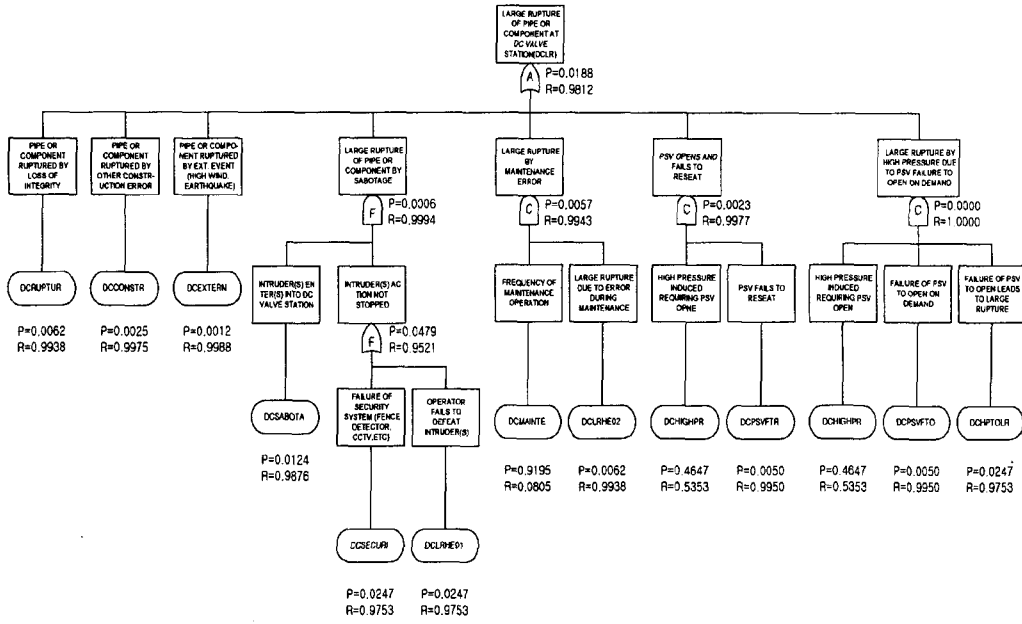


Fig. 5. Fault tree for Large rupture at DC V/S.

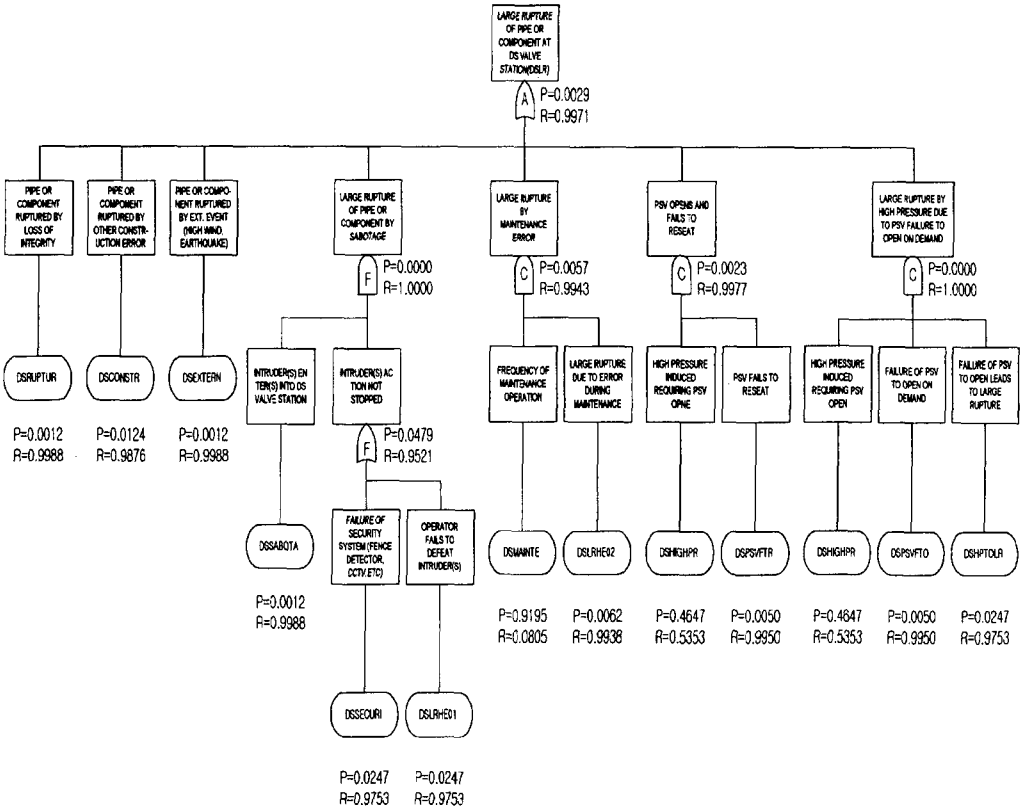


Fig. 6. Fault tree for Large rupture at DS V/S.

Table 3. Continued

21											9,10,S,K	9,10,V,K	9,10,Y,Z,K	9,10,10,Z,K	9,10,10,11,K	9,10,11,24
22																9,10,11,25
77											14,S,K	14,V,K	14,Y,Z,K	14,10,Z,K	14,10,11,K	14,10,11,24
78																14,10,11,25
79														14,10,12,K	14,10,12,24	
80																14,10,12,25
81													14,9,Z,K	14,9,11,K	14,9,11,24	
88													14,25			
89						OK	22,23,K	22,23,24								
90								22,23,25								
91			I	26,27												
92		C	29,F	29,30												
93				29,31												

- 발화원 존재 = 0.02(지상), 0.2(지하)
3.3.2 소규모 누출사건 수목

공급기지의 소규모 누출 사건 수목의 발전단계에서 보면 각 사건들에 대한 저지(Prevention)를 실패할 년

SEQUENCE NUMBER	LR	ES	OB	FR	IS	FREQUENCY	END STATE
	LARGE RUPTURE	LARGE RUPTURE ISOLATED BY EMERGENCY SHUTDOWN VALVE	OPERATORS IMMEDIATELY BLOCK THE RUPTURED PORTION	NG CONCENTRATION NOT REACHED TO FLAMMABLE RANGE	NO IGNITION SOURCE		
1	0.01898	0.5				0.00949	SHORT TERM LARGE RELEASE
2	0.01898	0.5	0.9	0.8		0.006833	SHORT TERM LARGE RELEASE
3	0.01898	0.5	0.9	0.2	0.98	0.001674	SHORT TERM LARGE RELEASE
4	0.01898	0.5	0.9	0.2	0.02	3.42E-05	MAJOR FIRE
5	0.01898	0.5	0.1	0.8		0.000759	LONG TERM LARGE RELEASE
6	0.01898	0.5	0.1	0.2	0.98	0.000186	LONG TERM LARGE RELEASE
7	0.01898	0.5	0.1	0.2	0.02	3.8E-06	MAJOR FIRE

Fig. 8. Quantitative risk analysis of event tree for large rupture at DC V/S.

SEQUENCE NUMBER	LR	ES	OB	FR	IS	FREQUENCY	END STATE
	LARGE RUPTURE	LARGE RUPTURE ISOLATED BY EMERGENCY SHUTDOWN VALVE	OPERATORS IMMEDIATELY BLOCK THE RUPTURED PORTION	CONCENTRATION NOT REACHED TO FLAMMABLE RANGE	NO IGNITION SOURCE		
1	0.02319	0				0	SHORT TERM LARGE RELEASE
2	0.02319	1	0.9	0.1		0.002087	SHORT TERM LARGE RELEASE
3	0.02319	1	0.9	0.9	0.8	0.015024	SHORT TERM LARGE RELEASE
4	0.02319	1	0.9	0.9	0.2	0.003756	MAJOR FIRE
5	0.02319	1	0.1	0.1		0.000232	LONG TERM LARGE RELEASE
6	0.02319	1	0.1	0.9	0.8	0.001669	LONG TERM LARGE RELEASE
7	0.02319	1	0.1	0.9	0.2	0.000417	MAJOR FIRE

Fig. 9. Quantitative risk analysis of event tree for large rupture at DS V/S.

간 발생빈도는 주로 공학적 판단에 의해 다음과 같이 예측했다.

- 가스감지기 작동 실패 = 0.1
- 운전자 가스감지 실패 = 0.1
- 단시간내 조치 실패 = 0.05
- 대규모 누출로 발전 = 0.01
- 가스농도의 연소범위 도달 = 0.001(지상), 0.01(지하)
- 발화원 존재 = 0.02(지상), 0.2(지하)

4. 위험도정량화결과

4.1 고장수목의 정량화 결과

4.2 사건 수목의 정량화 결과

5. 결 론

지금까지 천연가스공급설비에 대하여 정성적, 정량적분석을 수행함으로써 발생가능한 각종 사고들에 대하여 그 발생빈도를 검토하였으며 그에 따른 안전특성과 안전성 향상방안을 모색하였다.

본 연구 결과 천연가스 공급설비에 대하여 안전성 제고 측면에서 고려해야 할 사항을 정리하면 다음과

같다.

1. Minimal cut set에서 DC V/S의 경우 basic event 26, 27의 조합으로, DS V/S의 경우 basic event 4가 천연가스공급중단의 원인의 92%를 차지하고 있다. 그러므로 이 부분에 대해서 하나의 라인이 병렬로 추가되어야만 좀더 안정적이고 위험부담이 적은 시스템으로 운영할 수 있음.
2. 각 부분별 DC V/S에서는 F, K, P, Q 등이, DS V/S에서 F, B, E, G 등에서는 천연가스공급중단이라는 top event를 일으키지는 못하지만 국부적인 가스의 공급중단을 의미 하고 높은 고장율이 나타났다. 그러므로 원활한 기지의 운영을 위해 점검시 이곳들에 대해 좀 더 세심한 주의 및 점검의 주기를 줄여야 할 것으로 판단됨.
3. Minimal cut set을 살펴보면 DC V/S에서 8, 24, 25 등, DS V/S에서 6, 8, 12 등의 출현 빈도가 많은데 이것은 천연가스공급중단을 이루는 기기단위부분들이 자주 나타 나면 나타날수록 그 기기단위들에 대한 안전성에 대한 중요도가 증가한다고 볼 수 있음. 이상의 결과로서 천연가스공급설비의 신뢰성분석을 통하여 설비 전 계통에 대한 과학적이고 체계적인 운용능력이 향상될 수 있고 설비운용과 관련하여 존재

SEQUENCE NUMBER	SL SMALL LEAK	LD LEAK DETECTED BY DETECOOR	OD LEAK DETECTED BY OPERATOR	OM OPERATORS MITIGATE LEAK WITHIN A PERIOD	DL NOT DEVELOPED TO LARGE RUPTURE	FR NG CONCENTRATION NOT REACHED TO FLAMMABLE RANGE	IS NO IGNITION SOURCE	FREQUENCY	END STATE
1	3.2875	0.9		0.95				2.810813	SHORT TERM SMALL RELEASE
2	3.2875	0.9		0.05	0.99	0.999		0.146312	LONG TERM SMALL RELEASE
3	3.2875	0.9		0.05	0.99	0.001	0.98	0.000144	LONG TERM SMALL RELEASE
4	3.2875	0.9		0.05	0.99	0.001	0.02	2.93E-06	SMALL FIRE
5	3.2875	0.9		0.05	0.01			0.001479	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE
6	3.2875	0.1	0.9	0.95				0.281081	SHORT TERM SMALL RELEASE
7	3.2875	0.1	0.9	0.05	0.99	0.999		0.014631	LONG TERM SMALL RELEASE
8	3.2875	0.1	0.9	0.05	0.99	0.001	0.98	1.44E-05	LONG TERM SMALL RELEASE
9	3.2875	0.1	0.9	0.05	0.99	0.001	0.02	2.93E-07	SMALL FIRE
10	3.2875	0.1	0.9	0.05	0.01			0.000148	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE
11	3.2875	0.1	0.1		0.99	0.999		0.032514	LONG TERM SMALL RELEASE
12	3.2875	0.1	0.1		0.99	0.001	0.98	3.19E-05	LONG TERM SMALL RELEASE
13	3.2875	0.1	0.1		0.99	0.001	0.02	6.51E-07	SMALL FIRE
14	3.2875	0.1	0.1		0.01			0.000329	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE

Fig. 10. Quantitative risk analysis of event tree for Small leakage at DC V/S.

가능한 공급중단원인을 미연에 제거하여 안정적인 천연가스 공급체계를 구축하여 대국민 서비스의 질을 향상시킬 수 있다. 또한 계통별 용량 및 Balancing에 대한 적절성을 분석하여 설비 운용상의 경제성 및 효율

성을 제고할 수 있으며 분석결과는 신뢰도 기반정비(RCM: Reliability Centred Maintenance)프로그램 마련을 위한 기기별 중요도 순위설정 및 예비품 제고관리의 기본자료로 활용이 가능하다.

SEQUENCE NUMBER	SL SMALL LEAK	LD LEAK DETECTED BY DETECCOR	OD LEAK DETECTED BY OPERATOR	OM OPERATORS MITIGATE LEAK WITHIN A PERIOD	DL NOT DEVELOPED TO LARGE RUPTURE	FR NG CONCENTRATION NOT REACHED TO FLAMMABLE RANGE	IS NO IGNITION SOURCE	FREQUE-NCY	END STATE		
1	1.38777	0.9		0.95	0.99	0.999	0.98	1.186545	SHORT TERM SMALL RELEASE		
2	1.38777			0.05				0.061763	LONG TERM SMALL RELEASE		
3	1.38777			0.06				6.06E-05	LONG TERM SMALL RELEASE		
4	1.38777			0.05				1.24E-06	SMALL FIRE		
5	1.38777			0.05				0.01	0.000624	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE	
6	1.38777	0.1	0.9	0.95	0.99	0.999	0.98	0.118655	SHORT TERM SMALL RELEASE		
7	1.38777	0.1	0.9	0.05				0.006176	LONG TERM SMALL RELEASE		
8	1.38777	0.1	0.9	0.05				6.06E-06	LONG TERM SMALL RELEASE		
9	1.38777	0.1	0.9	0.05				1.24E-07	SMALL FIRE		
10	1.38777	0.1	0.9	0.05				0.01	6.24E-05	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE	
11	1.38777	0.1	0.1	0.99	0.999	0.98	0.013725	LONG TERM SMALL RELEASE			
12	1.38777	0.1	0.1				0.99	0.001	1.35E-05	LONG TERM SMALL RELEASE	
13	1.38777	0.1	0.1				0.99	0.001	0.02	2.75E-07	SMALL FIRE
14	1.38777	0.1	0.1				0.01	0.000139	TO LARGE RUPTURE EVENT TREE		

Fig. 11. Quantitative risk analysis of event tree for Small leakage at DS V/S.

Table 4. Quantitative risk analysis of fault tree in terms of V/S

Valve station	Large Rupture	Small Leakage	No Supply of Natural Gas
	Frequency (/year)	Frequency (/year)	Frequency (/year)
DC	1.90×10^{-2}	3.29	2.33×10^{-2}
DS	2.32×10^{-2}	1.41	2.89×10^{-2}

Table 5. Quantitative risk analysis of event tree in terms of V/S

Valve Station	Large Release (/year)		Small Release (/year)		Fire/Explosion (/year)	
	Short Term	Long Term	Short Term	Long Term	Small	Major
DC	1.80×10^{-2}	9.45×10^{-4}	3.09	0.19	3.87×10^{-6}	3.80×10^{-5}
DS	1.71×10^{-2}	1.90×10^{-3}	1.31	0.08	1.63×10^{-6}	4.17×10^{-3}

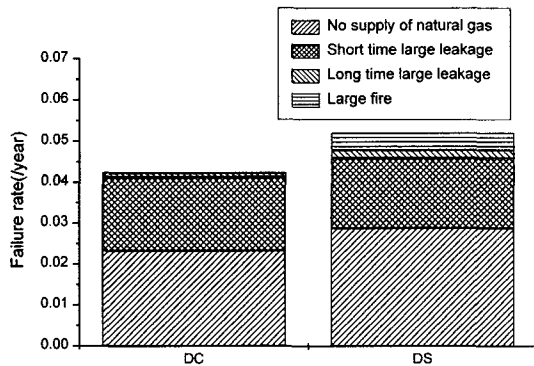


Fig. 12. The compare of large accidents at valve stations.

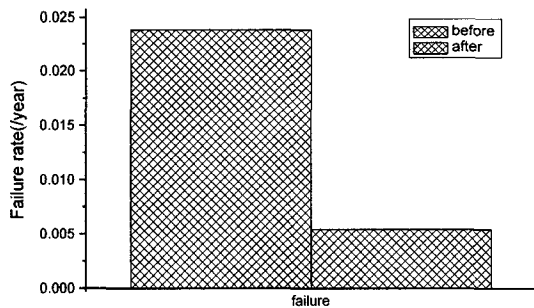


Fig. 13. The change of failure rate for no supply at DC V/S.

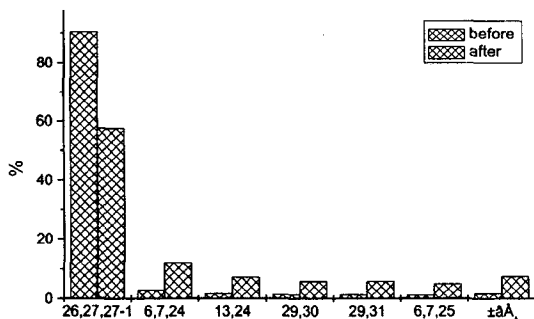


Fig. 14. The Change of failure rate for min cut set at DC V/S.

그리고 위의 기술된 정량적 안전성평가 결과를 바탕으로 도출된 포괄적인 안전성 향상방안으로는 설비개

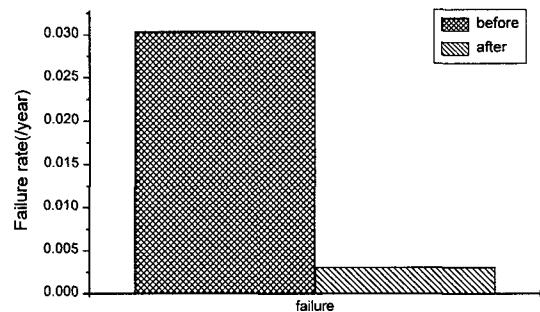


Fig. 15. The change of failure rate for no supply at DS V/S.

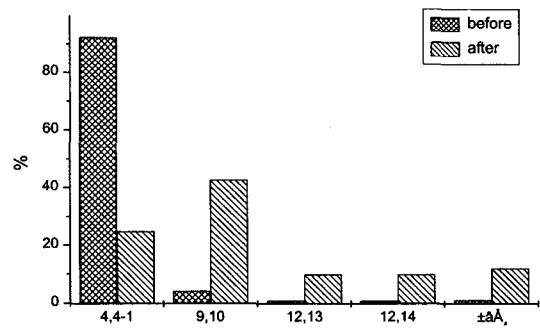


Fig. 16. The change of failure rate for min cut set at DS V/S.

선, 보수작업개선, 절차서 및 교육강화등 공급설비 운용의 모든 분야에 대해 중장기적으로 계획을 수립하여 검토할 필요가 있다. 그리고 수립된 정량적 안전성평가 모델을 활용할 수 있는 분야, 즉 Living QRA, 점검/보수 등에 대해서도 지속적으로 추진하는 것이 바람직하다.

또한 향후 천연가스 공급설비에서 누출에 의한 사고 발생의 잠재위험성을 줄이기 위해서도 현재까지 발생한 가스누출사고사례에 대한 정확한 데이터베이스구축과 함께 원인조사 및 사고추이분석에 따른 유사 사고 예방 시나리오 등이 심도있게 논의되어야 한다.

그리고 천연가스 공급 설비의 실제 기기 고장률을 도출하기 위해서는 다른 유사설비에 대한 고장률 데이터를 초기 예상 고장률로 설정하고 설비를 운전함에

따라 이 데이터를 계속해서 수정·보완 Update해야 할 것이다.

이를 위해서는 우선 고장에 대한 데이터베이스의 구축이 필요하며 아울러 설비이력 및 운전·보수에 대한 정확한 기록과 나중에 이를 분석하기 위한 기록의 코드화(code)가 요구된다. 이와같은 자료가 준비되면 천연가스의 저장과 공급에 포함되는 공정 전체에 대한 위험성평가와 예상 사고도출 및 사고의 위험성평가를 구체적으로 수행할 수 있다.

참고문헌

1. D. Blanking, C. Eng., M.I. Gas E., "Gas distribution in Osaka: the Japanese way", *Gas Engineering & Management*, 19, pp.433-456(1983).
2. "IEEE Guide to the Collection and resentation 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).
3. CCPS, "Guidelines for Process Equipment Reliability Data", Center for Chemical Process Safety(1989).
4. Lambert H.E., "Case Study on the Use of PSA Methods", *Determining Safety Importance of Systems and components at Nuclear Power Plants*, IAEA-TECDOC-590, International Atomic Energy Agency(1991).
5. Fussell, J.B. and Wesely, W.E., "A New Methodology for Obtaining Cut Sets for Fault Trees", *Transactions of the American Nuclear Society*, 15 (1972).
6. International Nuclear Safety Advisory Group, "basic Safety Principles for Nuclear Power Plants", Safety Series, No. 75-INSAG-3, IAEA(1988).
7. BSI, 1971, *Glossary of General Terms used in Quality Assurance*, BS 4778.
8. Aird, R.J., "Reliability Assessment of Safety/Relief Valves", *Trans IChemE*, 60, pp.314-318(1982).
9. Daniel A. Crowl and Joseph F Louvar, "Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications", Prentice Hall, New Jersey(1990).
10. Hiromitsu Kumamoto, "New Trends in System Reliability Evaluation-Chapter 7: Fault Tree Analysis", Elsevier Science Publishers, pp.249-311(1993).