

다중판별 장치 스크리닝 기법을 이용한 가스공정의 위험성 평가

박 정 수 · 안 성 준 · 한 경 훈 · 윤 종 필 · 김 구 회* · 신 동 일** · * 윤 인 섭

서울대학교 응용화학부

*서울대학교 화학공정신기술연구소

**명지대학교 화학공학과

(2003년 1월 25일 접수, 2003년 2월 9일 채택)

Hazard Evaluation of Gas Processes Using a Multi-distinction Equipment Screening Algorithm

Jeong Su Park · Sung Joon Ahn · Kyoungsoon Han · Jong Phil Yoon ·
Ku Hwoi Kim* · Dongil Shin** and En Sup Yoon

School of Chemical Engineering, Seoul National University

**Institute of Chemical Processes, Seoul National University*

***Department of Chemical Engineering, Myongji University*

(Received 25 January 2003 ; Accepted 9 February 2003)

요 약

본 연구에서는 가스공정에서 중요시 되는 화재/폭발에 대한 위험성 평가 기법으로, 공정 위험 지수법인 Dow's F&EI와 정성적 위험판별기법인 장치스크리닝 기법의 특성에 산업 별로 위험시되는 사항에 대한 전문가 의견을 수렴할 수 있도록 전문가 시스템—장치 및 공정의 사고사례 및 전문가의 의견 수렴된 시스템—을 도입하여 위험 지수에 전문가적 reward/penalty를 주고 공정 장치의 종합위험도 지수를 계산하여 보다 정밀한 위험장치 검색을 할 수 있는 형태인 다중판별 장치스크리닝 기법(Multi-distinction Equipment Screening Algorithm, MESA)을 제안하였다. 그리고 이에 대한 사례연구로 LPG 지하저장공정의 위험도 순위에 대해 전문가 시스템이 도입되지 않은 경우와 도입된 경우의 위험 판단 해상도를 파악하여 제안 알고리즘의 유용성을 입증하였다. 그리고 이와 같은 위험도 순위에 따른 장치의 물리적 특징을 파악함으로써 안전장치 및 mitigation 장치 그리고 비상대응계획에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 기대한다.

Abstract - A Multi-distinction Equipment Screening Algorithm (MESA) is proposed. It selectively integrates Dow's F&EI as its process hazard index technique and ESA (Equipment Screening Algorithm) as qualitative hazard classification technique, and retrieves a detailed list of hazardous equipments with the total hazard indices of those equipments. The inherent expert system, which includes the accident scenarios of the equipments and processes and experts' views of them, narrows further down the list of hazardous equipments and recommends only the most notable candidates. Through the case study of distinguishing the hazardous ranking of the equipments of the LPG underground storage process, using the expert system or not, the applicability of MESA has been validated. Taking the characteristics of the process equipments with hazardous ranking in the point of process intrinsic safety, this proposed algorithm would contribute to providing engineers or managers with information on constructing safety devices and mitigation devices and on scheduling emergency response planning.

Key words : Equipment Screening Algorithm, Qualitative Risk Assessment, Risk Ranking, Expert System

1. 서 론

가스공정 및 화학공정의 여러 가지 위험을 미리 알고 비상시에 대응할 수 있도록 하기 위해서 위험물을 다루는 사업장 및 공장마다, 공정안전보고서를 작성하여 한국가스안전공사나 한국산업안전공단에 제출하는 것이 의무화되어 있다. 이러한 규정에는 신규 사업장 및 기존 사업장의 위험성 평가(hazard evaluation)의 방법으로 HAZOP(HAZard & OPerability Studies)과 같은 방법을 사용하도록 하고 있다. 그런데 이러한 HAZOP 방법은 발생할 수 있는 위험을 세밀히 분석할 수 있다는 장점이 있는 반면 공장의 모든 설비에 대해서 이 방법을 적용시키는 점에 있어 많은 인력과 시간, 비용을 필요로 한 것으로 알려져 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 정확도가 높고 선택성이 뛰어나며 시간과 인력의 소요가 적은 선별법(screening method)이 Fig 1에서 보는 바와 같이 예측되는 위험성을 평가하는 단계 중 위험성 확인(hazard identification) 단계에서 주로 사용되어져 왔는데[1] 이러한 방법중 하나로써 위험성을 간단하게 지수화 하여 상호 비교할 수 있는 Dow 화재·폭발지수(Dow's Fire & Explosion Index, F&EI)와 같은 공정 위험 지수법(process hazard index method)이 널리 알려져 있다.

하지만, 이 방법은 사용하기는 편리하나, 상황에 따른 변경이 어렵다고 알려졌다 [6]. 이는 Dow사라는 특정지역에서 생산된 화학제품에 대한 공정 및 장치류들의 위험성 판단자료를 모아 이에 대한 DB를 만들고, 해당 특정 생산 지역에서 모아진 위험자료에 대해 회귀분석하여 이를 표준화하였기 때문이다. 한편으로 Dow's F&EI는 우리나라의 화재보험사에서 널리 사용되는 방법이기도 하다. 이러한 점은 언급한 바와 같이 국제적인 표준화와 범용성을 들 수 있겠다. 하지만 Dow's F&EI를 적용한다는 것은 전문가가 아닌 이상 여러 가지의 위험 장치특성 및 물질의 penalty 부여를 위한 장치 해석상의 어려움 또는 모호함을 가지고 있는 것도 사실이다 [6]. 뿐만 아니라 외국의

공업단지와 우리나라의 특성들이 사뭇 달라 우리나라의 위험지수 판별에 큰 오차를 줄 수 있어 공정특성에 대한 penalty를 외국공장에서 실시하는 방식 그대로 적용하는 데에는 장치 및 배관의 국산화가 많은 우리나라의 중소기업에서의 문제가 있을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 우리나라의 실정에 맞으며 또한 누구나 쉽게 운전하는 장치의 위험성을 판별하여 위험 순위를 매겨 작업할 수 있는 알고리즘이 필요하게 되었다.

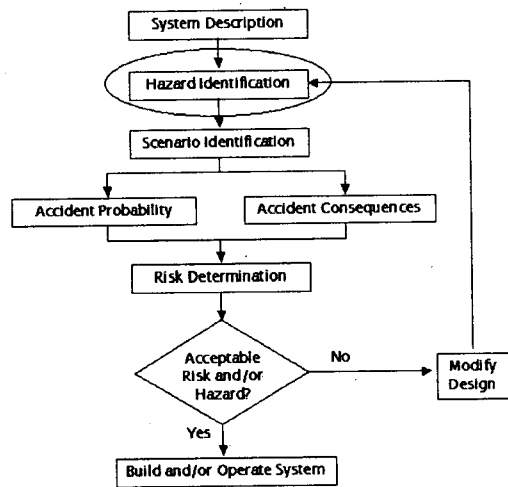


Fig. 1 Predictive hazard evaluation.

이에 본 연구는 [1]에서 김(2000)이 주장한 공정 장치의 잠재 위험성을 장치 및 시설적인 측면의 consequence 판별항목인 물질, 유량, 공정조건과, frequency 판별항목인 장치 수명을 고려한 장치고장률 및 사용기간을 가지고 각 해당 항목별로 장치들 각각의 위험성이 얼마나 잠재되어 있는가를 판별하고, 전문가시스템이 도입된 DB를 이용하여 어느 정도 판별된 잠재 위험이 큰 장치들의 보다 좋은 검색 해상도를 제공하여 공정시설의 설계 유지 보수 단계에 있는 사용자에게 설계변경에 필요한 의사결정에 편의를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 위험대응시스템(mitigation, prevention) 구축 근거를 제공할 수 있게 하고자 한다. 이러한 내

용을 바탕으로 LPG 공정장치의 설계 및 유지 보수 단계에서 사용될 수 있도록 다중판별 장치 스크리닝 알고리즘(Multi-distinction Equipment Screening Algorithm, MESA)을 제안하고 잠재적으로 가지는 공정 장치의 위험성을 판단하여 위험 순위를 매겨 올바른 위험성 판단 guideline을 제공하여 의사결정에 기여할 수 있도록 하고자 한다.

본 연구는 장치 고유의 위험도를 판별하여 장치의 위험도를 최소화 시킬 수 있는 안전장치 및 mitigation 전략에 정보를 제공하고 장치의 이상거동에 따른 그 영향과 원인 분석 및 정량적 위험성 평가의 사고 시나리오 및 그 근거로서 활용될 수 있도록 하는 것이다. 이에 대한 위험성 판별 제외 범위, 즉 가정하는 사항은 다음과 같다: Safeguard 영역장치로 위험성을 자체적으로 해결하려고 하는 제어 장치(control valve), 위험성을 사전에 알려주는 장치(alarm, control variable monitoring system (sensor 포함)), 사고 발생시 위험을 최소화 시켜주는 장치(mitigation 장치: rupture disc, safety valve, safety barrier, emergency by-pass system), 사고 발생을 원천적으로 막고자 하는 장치(prevention장치: 반응 억제제/중화제 투입장치), 또한 모든 외부적인 위험을 줄 가능성이 있는 사항(compressor의 구동: air-pressure)에 대한 특성(위험성 및 안전성)은 고려하지 않으며, 천재지변(홍수, 산사태, 지진)과 주변에 의한 위험성(테러, 전쟁, 현상공장파업 등)은 제외됨을 가정한다.

2. Multi-distinction Equipment Screening Algorithm (MESA)

본 연구에서 제안하는 알고리즘인 MESA (Multi-distinction Equipment Screening Algorithm ; 다중판별 장치 스크리닝 알고리즘)은 새로운 공정 또는 운전중인 공정에 대한 위험성 평가에 있어서 평가 동원인력, 교육 및 연구시간 그리고 경제적인 면에서 매우 효율적인 위험성 평가 기법인 Dow's F&EI에서의 변수 즉 물질치, 온도, 압력 등에 대한 위험도 지수의 형태가 2차의 형태가 아닌 단조 증가 또는 단조 감소의 경향을 보임에 착안하여 변수에 대한 위험도 구분을 정성적인 매트릭스 형태인 A, B, C로 나누고 각각에 대해 위험 지수값으로 A:25점, B:15점, C:5점을 주었다. 그

리고 판별되는 항목으로는 정성적 위험성 평가 기법인 장치 스크리닝 기법(Equipment Screening Algorithm, ESA)에서 사용되는 항목들 중 worst case적 잠재위험성을 평가하는 항목들인 물질특성, 유속, 운전조건, 고장률(사용기간)을 선택하여 공정장치 고유의 위험성을 판단할 수 있도록 하였다. 이에 MESA의 전체적인 구조도는 Fig. 2와 같으며 이에 대해 대략적으로 설명하면 다음과 같다.

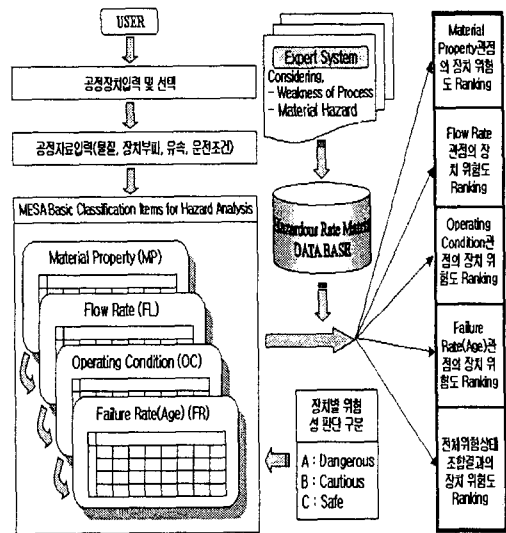


Fig. 2 Schematic of the proposed MESA method.

먼저 위험성을 평가할 해당 공정장치에 대한 물질, 유속, 운전조건, 고장률(사용기간)의 기본 자료(물질, 장치부피, 유속, 운전온도, 운전압력, 물질연소열, boiling point, flash point, 기타)를 입력한다. 다음으로는 위험분석을 위해 제안된 장치스크리닝 알고리즘을 적용하여 장치별로 위험성 판단 구분된 매트릭스 값(A: 25점, B: 15점, C: 5점)인 장치 일반 위험도를 얻는다. 그리고 해당 장치 및 공정 그리고 물질에 대해서 특별히 고려될만한 사항이 되는 점이 고려된 전문가 시스템 DB를 적용한 reward 및 penalty값을 앞에서 구한 장치 일반 위험도 값에 곱하여 장치 종합 위험도를 각 장치별로 얻는다. 다음으로는 위험성 분석을 위한 다중판별 장치스크리닝 알고리즘의 기본 구분항목들에 대해서 자세히 알아보자.

2.1. 물질특성 (Material Property, MP)

물질특성에 관한 위험성 판단은 National Fire Protection Association (NFPA) code의 N_f (flammability: 물질의 인화성)와 N_r (reactivity: 물질의 반응성)의 5단계로 나누어지는 값을 인화성(N_f)과 반응성(N_r)의 지수의 합($MP=N_f+N_r$)에 대해 0에서 2까지에 해당되는 경우는 "안전"하다(위험지수 : C)라고 보고, 3과 4에 해당되는 경우는 "주의"를 요하는 경우(위험지수 : B)로 보며 5이상인 경우에는 "위험"한 경우(위험지수 : A)라고 보았다. 이렇게 물질의 위험성에 대한 영향에 위험등급을 매겨 matrix화 하였으며, 그 내용은 Table 1과 같다 [3].

Table 1. Hazardous index distinction of Material Property (MP).

		N_r				
		0	1	2	3	4
N_f	0	C	C	C	B	B
	1	C	C	B	B	A
	2	C	B	B	A	A
	3	B	B	A	A	A
	4	B	A	A	A	A

범 위	위험도 지수	
$MP \geq 5$	A	25
$5 > MP \geq 3$	B	15
$3 > MP$	C	5

솔벤트의 혼합물, 반응성 물질과 솔벤트 혼합물의 최적 위험 물질계수에 대한 자료가 없는 경우에는 각 성분들의 물질계수 중 물농도가 5%이상인 경우에 해당 NFPA 계수값(N_f , N_r)이 가장 높은 것(worst hazard case)을 선택하여 이를 해당 혼합물질의 위험 특성 지수(N_f , N_r)로 보고 MP지수를 결정한다 [4].

2.2. 유속 (Flow rate, FL)

유체 유속에 대한 위험도 지수의 산출 방법은 Fig. 3와 같이 우선 고려되는 주요장치의 폭발 가상 구형 환산 반지름($r[m]$)을 장치내부 물질 수용부피($V[m^3]$)를 가지고 계산하여 구한

다. 이에 환산반지름을 가지고 장치 위험전달 가상 구형 폭발 면적($A[m^2]$)을 구한다. 그리고 물질의 연소에 따른 유체 열전달 속도 ($H[J/sec]$)를 구하기 위해 물질의 연소열 ($H_c[J/kg]$), 물질의 질량유속 ($\dot{m}[kg/sec]$), 그리고 물질의 holdup양($m_0[kg]$)을 고려하여 계산한다. 위에서 계산된 물질의 연소에 따른 유체 열전달속도(H)에 장치 위험전달 가상 구형 폭발면적(A)을 나누어 단위면적당 가상 구형 폭발 열전달 에너지($H_f[J/m^2]$)를 구한다.

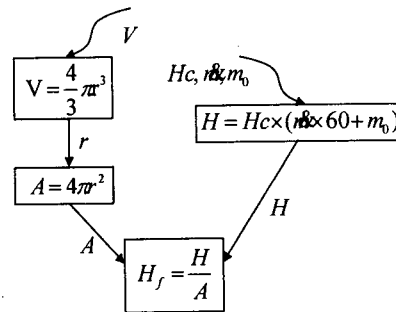


Fig. 3 Calculation of the radiation energy.

- V : 장치 내부 물질 수용 부피 [m^3]
- r : 폭발 가상 구형 환산반지름 [m]
- A : 장치 위험전달 가상 구형 폭발 면적 [m^2]
- H_c : 물질의 연소열 [J/kg]
- \dot{m} : 물질의 질량유속 [kg/sec]
- m_0 : 물질 holdup양 [kg]
- H : 물질의 연소에 따른 유체 열전달속도 [J/sec]
- H_f : 단위면적당 가상 구형 폭발 에너지 [J/m^2]

Fig.3에서 도출된 단위면적당 가상 구형 폭발 에너지(방사열 피폭 플럭스)를 SFPE (Society of Fire Protection Engineers) [5]에서 규정하는 방사열의 크기에 따른 피해정도로 구분되는 플럭스들의 1분간의 피폭 플럭스를 기준으로 하여 판별하였다. Table 2에서 $2.25MJ/m^2$ 은 $37.5kW/m^2$ 의 방사에너지 플럭스를 1분동안 피폭받는 에너지크기로서 이 크기 이상으로 공정장치 또는 인체에 피폭되게 되면 공정장치에 큰 피해를 입히고, 사람에게 대해서는 사망에 이르게 되며, $0.24MJ/m^2$ 은 $4kW/m^2$ 의 방사에너지 플럭스를 1분동안 피폭받는 에

너지크기로서 이 크기 이하로 공정장치 또는 인체에 피폭되게 되면 공정장치에 대해서는 대체로 안전하며 인체에 대해서는 아픔을 느낄 뿐 물질이 잡히지 않는 방사열이다. 이러한 점을 감안하여 피폭 방사열이 2.25MJ/m²이상인 경우에는 지수값을 A로 주고, 0.25MJ/m²이상 2.25MJ/m²미만인 경우에는 B를, 0.25MJ/m²미만인 경우에는 C를 주었다.

Table 2. Hazardous index distinction of FL (FLow rate).

범 위	위험도 지수	
$H_f \geq 2.25$	A	25
$2.25 > H_f \geq 0.25$	B	15
$0.25 > H_f$	C	5

2.3. 운전조건 (Operating Condition, OP)

운전조건에 해당되는 위험도 지수는 공정조업조건인 온도와 압력에 대해서 판별한다. 위험도 matrix의 판별 운전온도의 경우 BP(boiling point)와 FP(flash point)로 상변화에 따른 증발잠열을 고려하여 위험 구분 온도 기준을 잡았으며, 압력의 경우는 1984년에 공포된 "고압가스안전관리법시행령"의 가스에 대한 기준에 맞추어 압축가스에는 10Kg/cm² gauge(이하 압력은 모두 gauge압력)를, 액화가스에는 2Kg/cm²를 기준으로 위험 압력 기준을 상에 따라 판별하였다. 이러한 온도, 압력 기준을 조합하여 Table 3과 Table 4와 같이 위험도 지수 산출도표를 만들었다.

운전압력의 경우 진공영역에 해당되는 " $-1 \leq p < 0$ "영역은 운전시 물질의 특성 및 상에 따라 위험성을 자체 내포하는 즉 반응물이 진공상태에서 leak 발생시 외부의 공기유입과 동시에 산소와의 반응으로 인한 폭발반응발생 가능한 상태로 보아 N_f항에는 1항을 N_i항에는 2~3에 해당되는 경우로 하였다. 이는 Dow's F&EI에서 절대 압력이 0.68Kg/cm² (500mmHg, 진공 10inHg)미만일 경우에는 penalty가 중간정도의 발열반응에 해당하는 penalty(0.5)값을 주고 있다는 것으로도 진공상태의 위험수준을 가늠해 볼 수 있다. [4] 물질의 상에 있어 Input / Output이 2 phase(gas-liquid)인 경우 발생 위험을 모두 포함할 수 있는 liquid phase에서의 판별 방식

을 적용한다. 그리고 반응기에서 위험 온도와 위험 압력의 기준은 모두 반응기의 출구를 내부의 운전 온도와 압력과 동일한 의미로 보고 위험성을 판별한다.

Table 3. Hazardous rank distinction of OP (Operating Condition): Gas phase.

OP		온 도		
		T ≥ BP	BP > T ≥ FP	T < FP
압 력	$P \geq 10$	A	A	B
	$0 > p \geq -1$	A	B	C
	$10 > p \geq 0$	B	C	C

Table 4. Hazardous rank distinction of OP (Operating Condition): Liquid phase.

OP		온 도		
		T ≥ BP	BP > T ≥ FP	T < FP
압 력	$P \geq 2$	A	A	B
	$0 > p \geq -1$	A	B	C
	$2 > p \geq 0$	B	C	C

2.4. 고장률(사용기간) (Failure Rate(Age), FR)

장치의 고장률에 대한 위험성을 판단하는 기준으로는 공정장치가 해당 반응물질의 보관/접촉에 있어 압력 내구성(내압, 외압), 부식성과 외기온도 변화의 스트레스에 대한 견고성을 포함하는 자료인 고장률에 대해 해당 시설물 및 장치의 사용기간을 곱하여 사고 확률을 얻을 수 있다. 이를 위해 사용기간에 따라 장치 고장률이 시간에 선형적으로 위험성이 증가함을 가정하였다. 그리고 CCPS의 Guidelines for Process Equipment Reliability Data[2]의 10⁶ 시간(약 114년)의 장치 고장률 기준으로 0.01~3000까지의 값으로 분류하고 있는 점을 착안하여 장치의 위험지수 판별 기준을 10⁶시간에 한번 일어날 사고의 확률과 100시간에 한번 일어날 사고의 확률로 정하였다. 고장률

(사용기간)의 위험도 지수 판별 범위는 Table 5와 같다.

Table 5. Hazardous rank distinction of FR (Failure Rate).

범 위	위험도 지수
$F_r \geq 10^{-2}$	A
$10^{-2} > F_r \geq 10^{-6}$	B
$10^{-6} > F_r$	C

2.5. 전문가시스템 DB (Expert System Data Base)

각 위험도 판별항들에 대한 모든 경우의 수는 각 위험 판별 항목 3가지 경우에 대한 분류 항목수 4의 조합으로 3⁴가지(81가지)의 경우의 수가 나온다. 이에 대한 판별은 전문가적인 입장에서 분류할 수 있지만 번거롭고 실수가 일어날 수 있음을 알 수 있다. 따라서 case-by-case heuristic decision making 기술을 적용하여 다양한 공정에 대해서 위험성을 구분할 수 있도록 하기 위해 MESA에서 제안한 4가지의 분류항목(MP, FL, OP, FR)에 대한 위험도에 reward 및 penalty를 줄 수 있도록 전문가시스템 개념을 도입하였다. 이를 통해서 얻어지는 장점은 쉽게 여러 공정 및 분야의 전문가 의견을 수렴할 수 있으며 한 가지 공정에 국한되지 않고 여러 공정에 사용가능한 공정위험도 reward 및 penalty값을 항목별로 다양하게 줄 수 있다는 데 있다. 즉, 특정 반응 또는 용기에 있어 해당 물질이 있는 경우 위험 지수에 대한 penalty 및 reward를 적용한다. 이에 대한 계산식 예는 식 (1)과 같다. 본 연구에서 도입되는 전문가시스템의 주요 key로는 공정에 대한 취약성, 물질의 위험성, 운전조건/사고사례이다.

Reward: $E_{DB}=0.8, H_{TOT}' = H_{TOT} \times E_{DB}$ (1)

Penalty: $E_{DB}=1.2, H_{TOT}' = H_{TOT} \times E_{DB}$

- E_{DB} : 위험도 매트릭스 DB에 의한 reward/penalty 값
- H_{TOT} : 장치일반위험지수
- H_{TOT}' : 장치종합위험지수

2.6. 종합

물질특성, 유속, 운전조건, 고장률(사용기간)과 같은 위험도 구분 항목별 위험 매트릭스를 종합하면 Table 6과 같다. 여기서 장치종합 위험도는 식 (2)와 같이 장치일반 위험도에 전문가시스템에 의해 얻어진 reward/penalty 값을 곱하여 구한다.

$H_{TOT} = MP + FL + OP + FR$ (2)

$H_{TOT}' = H_{TOT} \times E_{DB}$

Table 6. Generated hazardous rank and index number.

		장 치 명						
		Equip.1	Equip.2	Equip.3	Equip.4	Equip.5	Equip.6	Equip.7
위험도 구분 항목	MP	A	B	B	B	C	A	B
	FL	C	A	B	A	C	B	B
	OP	C	C	C	A	C	B	C
	FR	C	C	A	A	A	B	C
	H_{TOT}	40	50	60	90	40	70	40
	H_{TOT}'	50	55	80	110	50	80	30

위의 H_{TOT} 에서 H_{TOT}' 가 구해진 결과를 볼 때 위험장치 검색에 있어서 resolution 향상을 보이고 있음을 알 수 있다.

3. 사례 연구

사례연구로 Fig. 4와 같은 LPG 지하저장공정에 대해 본 연구에서 제안한 MESA를 적용하여 보았다. 이 공정은 배로 수송된 LPG를 지하저장탱크(동굴, T-1)에 저장하기 위해 공정한 운전조건에 해당하는 온도와 압력조건에 맞추어 가열 압축하여 동굴에 저장한 후, LPG가 필요로 하는 시설에 이송하여 분배하는 공정에 사용되는 물질로는 propane, nitrogen, methanol, dimethylsulfide 그리고 물이 사용되었다. 그리고 운전조건으로 공급이송온도는 228K, 저장/이송분배시의 온도는 270~323K, 공급이송압력은 3.4Kg/cm², 저장/이송분배압력은 9~20Kg/cm²이다. 이러한 물질특성, 유속,

다중판별 장치 스크리닝 기법을 이용한 가스공정의 위험성 평가

운전조건, 고장률(사용기간)을 가지고 MESA에 적용하여 보았으며, 전문가시스템 DB에 적용되는 heuristic rule은 Table 7과 같다.

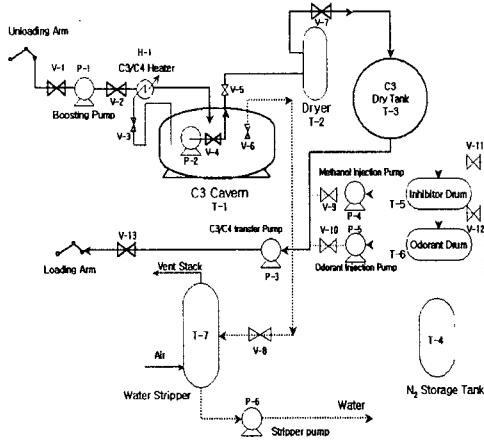


Fig. 4 Schematic of an LPG underground storage process.

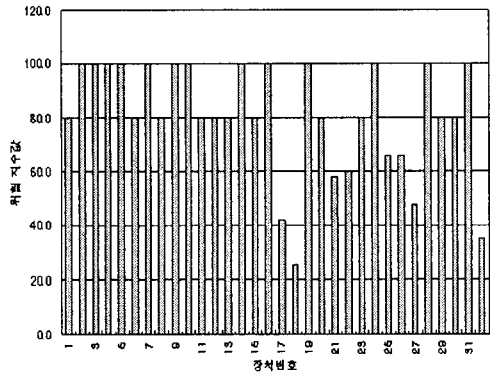
Table 7. Expert system rules.

	Reward / Penalty	Condition
MP	$H_{TOT}' = H_{TOT} \times 1.2$	Rank : A
	$H_{TOT}' = H_{TOT} \times 0.8$	Rank : C
FL	$H_{TOT}' = H_{TOT} \times 0.8$	Rank : C
FR	$H_{TOT}' = H_{TOT} + 10$	Rank : A
OP	$H_{TOT}' = H_{TOT} \times 1.2$	온도조건에서 holdup이 있는 용기의 경우 40°C 이상인 경우
	압력조건에서 상에 관계없이 10 Kg/cm ² 이상이 되는 경우 A rank, 0~1 Kg/cm ² 인 경우는 B, 0~10 Kg/cm ² 인 경우 C	

MESA를 이용한 위험성 평가결과인 Fig. 5(a) 도표는 장치 위험 판별에 전문가 시스템 DB가 도입되지 않은 상태로 위험 지수 100을 갖는 위험장치가 13개인 반면에 Fig. 5(b) 도표는 전문가 시스템 DB를 도입하여 장치 위험성 지수가 100이상이 3개로 압축되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 잠재위험이 큰 장치들에 대한 구분이 명확해지는 것을 알 수 있

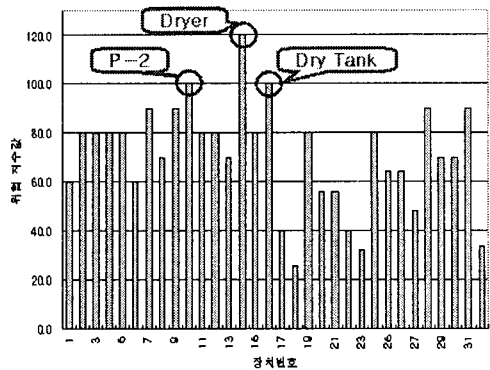
다. 그 결과 주 고려대상이 되어야 하는 장치로는 T-2(dryer), P-2(pump), T-3(dry tank)이며 이러한 장치들은 모두 유속 운전조건, 고장률(사용기간)에서 높은 위험순위 및 값을 가지고 있음을 Table 8(a), (b)에서 확인할 수 있었다. 결과에 대한 고찰로 종합 위험도 지수가 가장 크게 나온 T-2(dryer)의 경우, 온도 운전조건에서 장치의 운전온도를 313.15K(40°C)이하로 내리는 것이 무엇보다 중요하리라 판단되며 이에 대한 설계변경, 안전장치 및 사고시의 mitigation장치 그리고, interlock 시스템에 대해 고려하여야 함을 알 수 있다.

장치 위험 지수 도표



(a) Before applying Expert System DB

장치 위험 지수 도표



(b) After applying Expert System DB

Fig. 5 Plotted result of hazard evaluation.

Table 8. Input data and the result of hazard evaluation.

(a) Before applying the Expert System DB

No.	Unit No.	장치명	물질명	N ₁	N ₂	B.P. (K)	F.P. (K)	부피(m ³)	물질질량유속(Kg/h)	물질소열(KJ/kg)	Hold-up(Kg),Mo	온도(K)	압력(kg/cm ² C)	상(Phase)	고장률(회/10 ⁶ hr)	사용연수	물질위험지수	유위험지수	연조위험지수	고장률위험지수	종합위험지수
2	P-1	Boosting pump	C3	4	0	231	168	0.00980	1,170,000	46,355	0.0000	228	9.0	liquid	250.00	1	B	A	A	A	100.0
7	H-1	Heater	C3	4	0	231	168	100	1,169,940	46,355	40,740.0000	275	7.6	liquid	5.65	10	B	A	A	A	100.0
9	T-1	Cavern	C3	4	0	231	168	400,000	1,169,940	46,355	162,960,000	275	6.8	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
10	P-2	Pump	C3	4	0	231	168	0.00980	810,656	46,355	0.0000	275	20.0	liquid	250.00	1	B	A	A	A	100.0
14	T-2	Dryer	C3	4	0	231	168	100.0	810,656	46,355	40,740	323	20.0	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
16	T-3	Dry tank	C3	4	0	231	168	2,185	314,336	46,355	890,169	282	14.4	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
19	T-5	Inhibitor drum	MeOH	3	0	338	284	10	56	20,000	4,074	293	3.0	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
24	T-6	Odorant drum	RSH	4	0	314	237	1.8	2.82	27,419	733	278	3.0	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
28	P-3	Transfer pump	C3	4	0	231	168	0.00980	314,336	46,355	0.0000	278	6.1	liquid	250.00	1	B	A	A	A	100.0
31	T-7	Water stripper	C3	4	0	231	168	200.0	252,500	46,355	81,480	280	6.0	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0

(b) After applying the Expert System DB

No.	Unit No.	장치명	물질명	N ₁	N ₂	B.P. (K)	F.P. (K)	부피(m ³)	물질질량유속(Kg/h)	물질소열(KJ/kg)	Hold-up(Kg),Mo	온도(K)	압력(kg/cm ² C)	상(Phase)	고장률(회/10 ⁶ hr)	사용연수	물질위험지수	유위험지수	연조위험지수	고장률위험지수	종합위험지수
2	P-1	Boosting pump	C3	4	0	231	168	0.00980	1,170,000	46,355	0.0000	228	9.0	liquid	250.00	1	B	A	C	A	80.0
7	H-1	Heater	C3	4	0	231	168	100	1,169,940	46,355	40,740.0000	275	7.6	liquid	5.65	10	B	A	B	A	90.0
9	T-1	Cavern	C3	4	0	231	168	400,000	1,169,940	46,355	162,960,000	275	6.8	liquid	1.11	10	B	A	B	A	90.0
10	P-2	Pump	C3	4	0	231	168	0.00980	810,656	46,355	0.0000	275	20.0	liquid	250.00	1	B	A	A	A	100.0
14	T-2	Dryer	C3	4	0	231	168	100.0	810,656	46,355	40,740	323	20.0	liquid	1.11	10	B	A	A	A	120.0
16	T-3	Dry tank	C3	4	0	231	168	2,185	314,336	46,355	890,169	282	14.4	liquid	1.11	10	B	A	A	A	100.0
19	T-5	Inhibitor drum	MeOH	3	0	338	284	10	56	20,000	4,074	293	3.0	liquid	1.11	10	B	A	C	A	80.0
24	T-6	Odorant drum	RSH	4	0	314	237	1.8	2.82	27,419	733	278	3.0	liquid	1.11	10	B	A	C	A	80.0
28	P-3	Transfer pump	C3	4	0	231	168	0.00980	314,336	46,355	0.0000	278	6.1	liquid	250.00	1	B	A	B	A	90.0
31	T-7	Water stripper	C3	4	0	231	168	200.0	252,500	46,355	81,480	280	6.0	liquid	1.11	10	B	A	B	A	90.0

4. 결 론

본 연구를 통해 LPG 지하저장공정에서의 위험도를 장치별로 MESA를 이용하여 종합 잠재 위험 지수를 구하여 제안이론의 유용성을 확인하였다. Dow F&E의 위험성 분석 알고리즘과 비교하여 MESA는 간단한 4가지의 중요한 위험성 특징을 다각적으로 평가하여 보다 쉽게 준정량적 위험성분석을 할 수 있음을 알 수 있다. F&E에서는 공정위험계수(지수) 도출시 사용되는 자료는 Dow사에서 오랫동안 축적된 data base를 바탕으로 data regression된 Dow사의 통계자료로 Dow사의 지역적, 환경적 특색이 감안된 위험성 통계자료이기에 공장의 조건이나 설비, 안전 교육 및 관리시스템이 다른 우리나라의 화학공장에 그대로 적용시키기에는 무리가 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 전

문가 시스템 DB에 의해 잠재 위험성에 대한 종합위험지수 결과를 얻는 MESA가 비단 gas 분야뿐만 아니라 석유화학, 제조업의 어느 시스템에도 적용 가능한 위험성 판별기법이며 우리나라 실정에 맞는 위험성 판별 알고리즘으로서 사용될 수 있는 구조임을 확인할 수 있었다.

본 연구는 도출된 장치 종합위험지수 및 순위들에 대해 장치의 이상거동에 따른 그 영향과 원인, 조치방법을 분석 및 강구하는 HAZOP 및 Checklist과 같은 정성적 위험성 평가의 평가순서에 활용될 수 있으며 새로운 공정 및 운전중의 위험장치에 대해 사고영향평가의 신뢰성이 확보될 수 있도록 사고 시나리오의 근거를 제공하여 좀 더 정확하고 유연한 비상대응계획(emergency response planning)을 제시할 수 있도록 도와주는 장점이 있다. 이는 정량적 공정 안전성 평가시스템의 일부로

구축되어 위험영향평가에 활용될 수 있을 것이다.

감 사

본 연구는 산업자원부/정보통신부 지원의 "화학 산업의 웹기반 지능형 온라인 통합생산관리시스템" 과제 및 교육인적자원부의 Brain Korea 21의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

1. 김구희, 화학공정의 가상 사고 시나리오 합성에 기반한 위험성 평가 시스템, 박사학위논문, 서울대학교 (2000).
2. AIChE, *Guidelines for Process Equipment Reliability Data*, Center for Chemical Process Safety of AIChE, New York (1989).
3. NFPA, *NFPA 409: Hazardous Chemicals Data*, 10th Ed., NFPA, Quincy (1991).
4. AIChE, *Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide*, 7th Ed., AIChE, New York (1994).
5. Society of Fire Protection Engineers, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd Ed., National Fire Protection Association (1995).
6. 김용하, HIRA 지수법을 이용한 BTX 공장의 위험성 확인에 관한 연구, 석사학위논문, 건국대학교 (2000)
7. AIChE, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, Center for Chemical Process Safety of AIChE, New York (1985).