

화학공장에서의 설비고장분석에 따른 예측적 손실방지 기술

정상용*, 이진한, 박교식
한국가스안전공사 가스안전연구개발원
(jungsy@kgs.or.kr*)

Instructions for Preparing Papers 2006 KICHe Fall Meeting

Sang-Yong Jung*, Jin-Han Lee, Kyo-Shik Park
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
(jungsy@kgs.or.kr*)

서론

장치산업시설의 손실방지(Loss prevention) 기술은 시설의 안전관리 기술, 방재 기술, 산업안전기술 및 환경오염방지 기술 등을 모두 포함하는 가장 핵심적이면서도 포괄적인 기술로서 사고 및 재해 등으로 인한 시설의 인적·물적 손실을 예방함을 목적으로 한다. 해당 시설의 사고 분석 및 기기/인적 신뢰도분석을 통하여 재난을 예측하고 이를 바탕으로 해당시설을 안전하게 관리하여 손실을 방지하기 위해서는, 관련된 모든 자료를 논리적으로 분석할 수 있는 프로그램 모듈을 마련하고 이들을 통합하여 예방의 안전관리를 하도록 유도하여야 한다.

석유화학·정유 산업에 대한 손실방지 기술의 개념은 외국의 경우 1960년대 말 공정의 압력이나 온도 등 운전조건이 엄격해지면서 장치가 가진 에너지가 증대하고 구조물의 재료와 공정제어 같은 분야의 문제가 대두되면서 더욱 관심거리가 되었다. 즉 장치가 거대화·복합화 되면서 단일흐름을 지향하는 설계로 압축기 및 증류탑 등은 거대해지고 저장용기는 가능한 한 최소규모를 유지하게 된다. 이 결과 공정을 경제적으로 최적화 할 수는 있었지만 반대로 사고시 대형 참사가 될 가능성이 더욱 커지게 된 것이다[1, 2, 3].

즉 석유화학이나 정유처럼 기술이 매우 빠른 속도로 발전하는 경우 과거의 사고 시나리오에서는 안전했던 시스템이 지속적으로 안전을 보장하지 못하므로 새로운 설비의 안전성은 공정모델과 위험성 등에 의해 예측한다. 이에 따라 확률론적 위험 분석(PRA, Probabilistic risk analysis) 방법이 개발되었으며 이는 방호조치가 동시에 제 기능을 발휘하지 못해 최악의 사고(Full scale accident)가 발생하는 경우까지 가정하는 것이다. 결과적으로 과거사고의 분석에 의해서가 아니라 예측에 의한 위험 분석(Predictive risk analysis)에 의해서 설비의 안전관리가 필요하다. 즉 중소규모의 사고는 과거사고 분석으로 예방하는 방법이 효과적이나 보다 근본적인 대책수립을 위해서는 예방의 차원에서 무사고지향(no-accident-is-tolerable) 전략이 필요하다. 즉 이러한 장치산업 시설을 안전하게 관리하여 손실을 방지하기 위해서는 사고자료 및 설비 신뢰도 관련 자료를 체계적으로 수집하고 이를 보다 논리적인 방법으로 분석하여 적용하는 Tool의 개발이 필요하다 [4].

본론

설비신뢰도분석을 하기 위해 설비경계, 설비분류 및 고장형태에 따라 분류하는 것이 필요하다[5]. 설비경계는 그 설비에 해당되는 설비의 범위를 지정 해주는 것이며, 설비분류는 설비경계를 바탕으로 정유·석유화학공장 전체설비에 대하여 각각의 설비로 분류하는 것이다. 본 연구에서는 설비분류 체계 및 고장오류 분석 체계는 ISO 14224(Petro and

natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment)를 채택하여 기존 기업에서의 관리체계와 외국의 자료가 상호 비교 가능하도록 구성하였다. 이러한 분류체계를 기본으로 먼저 회전기계류(Rotating), 기계장치류(Mechanical), 전기설비류(Electrical), 안전제어류(Safety and Control), 유틸리티류(Uilities) 등으로 분류하였고[5], 다시 회전기계류는 펌프, 압축기, 터빈 등과 같이 분류되며, 펌프라도 형식에 따라 원심식, 왕복동식 등으로 분류하여 약 144개로 세분류하였다. 이렇게 분류된 설비항목에 따른 분석항목은 고장 메카니즘, 고장원인, 오류발견방법, 고장모드로 분류한 다음 각 설비분류단계별로 접근하여 설비별로 모든 항목이 분석되도록 설계하였다.

또한 분석되는 자료에 따라 GENERIC, SPECIFIC, USER 모듈로 구성하여 상호 비교 등을 통하여 손실 예측자료로 활용할 수 있게 하였다. GENERIC 모듈에는 OREDA(Off Shore Reliability Database) 일반신뢰도 자료를 사용하였는데, 이 자료는 유럽을 중심으로 한 석유화학공장과 관련되는 설비에 대해 수집한 자료로서 수백 종의 설비종류에 대한 신뢰도 자료가 주어져 있다. 고장모드 및 고장심각도의 분류가 상세히 되어 있으며, 각 고장모드별 고장율과 보수시간의 상한치 및 하한치, 계산의 근거가 되는 설비별 운전시간, 고장횟수 등이 주어져 있다. SPECIFIC 모듈에서는 국내 산업의 자료를 분석하여 설비종류 및 고장모드에 따른 고장률과 가동률 등을 단위공장과 단위공정별로 분리하여 예방활동을 위한 예측 가능한 자료를 입력하였고, USER MODULE에서는 기업의 실제 자료를 분석하여 기업의 설비운영상 문제점 파악을 위한 자료 제공할 수 있게 하였다.

자료 분석시에는 과거 대부분의 설비신뢰도 자료는 설비에 대한 전체적인 통계분석 자료로 실제 그 설비를 운영하는 환경을 전혀 반영하지 않아 실제로 분석된 수치가 해당기업의 조건에 적합한지 의심이 가고, 또한 이 자료를 근거로 위험도 분석 등의 활동시에 전혀 다른 결과가 나오는 경우가 있었다. 하지만 본 연구에서는 분석단계부터 유사한 조건에서의 자료를 취득하기 위하여 해당 플랜트 및 공정의 개념을 도입하여 보다 정확한 자료를 얻을 수 있도록 하였다. 이러한 분석방법은 그동안 정확한 자료가 없어 예측적 위험도 분석이 어려웠던 모든 문제를 일시에 해결할 수 있는 기능을 갖추어 정량적 위험 분석의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 현장에서 설비의 고장률 데이터를 수집하여 가공하고자 할 때 대부분의 경우 다른 운전기간, 운전조건, 주변 환경에 설치된 설비의 고장률 데이터를 수집하게 된다. 이 때 이들 설비들의 평균 고장률을 산정하는 방법에 대한 문제에 직면하게 된다. 이 문제를 소위 "multi-sample" 문제라고 한다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 OREDA 모델[6]과 ICPPFRD(Idaho Chemical Processing Plant Failure Rate Database)모델[7]을 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다. 또한 자료수집기간 및 대상의 제한 등으로 자료의 신뢰성을 확신할 수 없으므로 Generic Data와 Specific Data의 효과적 결합을 위하여 Vinnem(1999)가 소개한 방법 즉, Bayesian 추론을 적용한 결합방법을 사용하였다[8].

Generic Data Base

- O_g : number of occurrences
- E_g : number of exposure hour

Specific Data Base

- O_s : number of occurrences
- E_s : number of exposure hour

그러면 발생빈도는 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$\cdot \text{Generic Estimate} : F_{generic} = \frac{O_g}{E_g} \quad \cdot \text{Specific Estimate} : F_{specific} = \frac{O_s}{E_s}$$

$$\cdot \text{Weighted(Combined) Estimate} : F_{specific} = \frac{O_g + O_s}{E_g + E_s}$$

이렇게 체계적으로 수집되고 분석된 설비신뢰도 자료가 손실방지를 위한 예측적 위험성평가 활동으로 연계되기 위해서는 그 자체로는 부족하다. 물론 분석된 설비자료를 이용하여 설비에 대한 종합적인 관리체계, 보수체계 등을 수립하여 예방할 수는 있다. 하지만 본 연구에서는 실질적인 위험평가 예측적 위험성평가 활동으로 발전시키기 위해 설비신뢰도 외에 인적신뢰도 분석 시스템 및 사고시나리오 생성 시스템과 연계하여 종합적인 예측적 위험분석결과가 도출될 수 있도록 설계하였고, 그 구성도는 아래의 그림과 같다

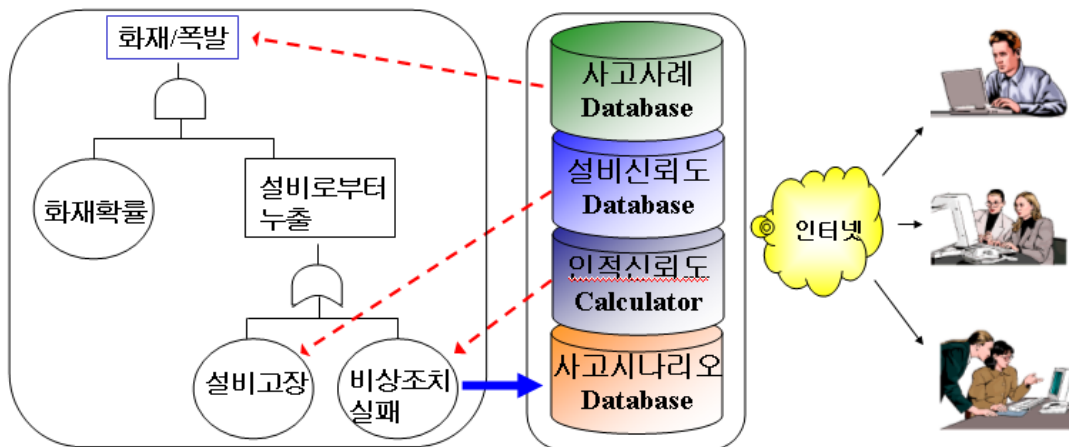


그림 1-1 사고사례, 설비신뢰도, 인적신뢰도, 사고시나리오 정보 공유체계도

결론

장치산업 시설을 안전하게 관리하여 손실을 방지하기 위해서 사고자료 및 기기/인적 신뢰도 관련 자료를 체계적으로 수집하고 이를 분석하였다. 분석에 활용된 자료는 화학공장에서 사용되는 거의 모든 설비가 갖추어 운영되고 있는 NCC, HDPE, PP 플랜트 위주로 약 1,000여개의 자료를 분석하여 입력하였다. 이 자료를 기본으로 국내 설비의 고장율을 분석하여 국외 자료인 OREDA 자료와 비교분석한 결과 대체적으로 OREDA에 나타난 자료보다 낮은 고장율 값을 보였다. 이는 Off Shore에서 운전되는 설비들이 On Shore에서 운전되는 국내 설비보다 악조건에서 운전되어 나타나는 현상이라 판단된다. 비교 분석내용은 아래 표와 같다.

근거	Mechanical			
	Vessels			
	Distillation column	Flash Drum	Stripper	Dryer
OREDA	38.0E-06	11.91E-06	9.82E-06	66.50E-06
KGS	7.25E-06	5.72E-06	7.25E-06	6.36E-06

근거	Rotating			Mechanical	
	Pump		Compressor	Heat Exchange	Heaters and boilers
	Centrifugal	Reciprocating	Centrifugal	Shell and tube	Indirect HC fired heater
OREDA	21.60E-06	40.61E-05	73.31E-06	8.58E-06	61.15E-06
KGS	6.40E-06	1.34E-05	8.06E-06	6.40E-06	4.85E-06

표 1-1 KGS 설비신뢰도 자료와 OREDA 자료 비교 분석표

본 연구를 통해 얻어진 석유화학설비의 고장데이터는 아직 국내에 신뢰도데이터가 없어 외국자료에 의존하는 상황에서 석유화학설비의 설계, 유지관리, 위험평가 등에 매우 유용하며 추후 사고시나리오 분석시스템과 인적신뢰도 분석 시스템과의 연계성도 더욱 발전시켜 연구가 완성되면 예측적 손실방지 기술로서 기업의 사고를 줄이는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. CCPS, "Guidelines for Integrating Process Safety Management, Environment, Safety, Health, and Quality", CCPS of the AIChE, 1997
2. Lees, Frank P., "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworths, 1986
3. 박교식, 윤인섭, "공정안전공학", 청문각, 1999
4. CCPS, "Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety", CCPS of the AIChE, 1992
5. ISO(International Organization For Standardization "ISO 14224(Petro and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment)" 1999
6. OREDA 4th Edition, "Offshore Reliability Data Handbook", 2002
7. Alber, T. G. et al, "Idaho Chemical Processing Plant Failure Rate Database", Idaho National Engineering Laboratory, 1995
8. Vinnem, J. E 'Offshore Risk Assessment : Principles, Modelling and Application of QRA Studies' Kluwer Academic Publishers, 1999