

□ 설비신뢰도 분석 기술 개요

석유화학·정유·가스시설 등 장치산업시설에 대한 기계장치의 설비 신뢰도 자료는 최근 미국 및 유럽에서도 일부 연구가 개발되었다. 일부는 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute)와 MPC(Material Properties Council) 연구팀들에 의해 주도적으로 수행되어 주로 발전설비(원자력, 화력) 및 석유화학시설을 대상으로 고온재료의 재료물성 Data Base를 구성하고 이를 최적진단 및 정량적위험평가(Quantitative Risk Analysis, QRA) 기술에 적용하도록 하고 있다[1]. EPRI에서 1985년에서 1987년까지 3군데 발전소에 Pilot 적용하면서 화력 발전소에 Stream Lined 방법을 확대 적용하기 시작하였다. 기존의 방법에 비하여 설비의 부품 Level 까지 해석 대상이 세분화되므로 다양한 고장 유형에 대한 분석이 가능하고 이에 대한 관리 방안 도출이 가능하다고 알려져 있다. 반면 해석 대상이 세분화되므로 인하여 많은 시간이 소요되며 과도한 관리 방안이 많이 뒤따르므로 실행성이 약화될 수 있다는 단점이 있다. 영국은 민간기업인 AEAT(Atomic Energy Authority Technology)에서 정부를 대신하여 MHIDaS (Major Hazard Incidents Data Service)라는 사고관련 Data Base를 제작·운영하며 이를 활용하여 대규모 가스시설에 대해 위험정도에 따라 차등적인 검사를 실시하는 RBI(Risk-Based Inspection)기법에 근거한 NIT(Non Intrusive Testing) 프로그램을 개발하였다. 이를 적용하면 설비의 안전을 보다 더 고도화하면서도 연속운전기간을 종전의 1년에서 현재는 3년으로 늘이는 방법을 개발 적용중이다. 1980년대 들어 On-Stream Inspection(PM, Preventive Maintenance)을 실시하여, 문제다발 설비에 대하여는 운전중에도 주기적인 검사를 실시하여 공정의 유효성(Availability)을 높였다. 그러나 검사 계획의 한계성 및 설비관리비용의 과다로 인하여 주기적인 검사/결과 관리용 전산 자료관리 체계가 필요하게 되었다. 1990년대 들어 Predictive Inspection(PdM) 개념이 도입되어 부식 Study를 통하여 문제발생 예상부위 도출하고 이에 대한 집중적인 검사를 실시하는 한편, 설계 자료 및 운전자료에 대한 분석과 입체적인 관리를 강화하여 사고발생 가능성을 대폭 낮추었다. 그러나 설비의 검사 및 관리비용이 매우 높다는 문제점이 여전히 남아 있었다. 그림 1에 각 산업체별 유지·보수 관리전략을 나타내었다. 이러한 전략수립을 위해 설비의 신뢰도 데이터는 필수적이며 미국의 경우 각 산업체의 개별적이고 산발적인 자료에서 필요한 자료를 수집·분석하는 Data mining에서 운전 초기부터 표준화된 자료관리기법을 도입하여 관리하게 하는 Data farming 개념을 도입하고 있다.

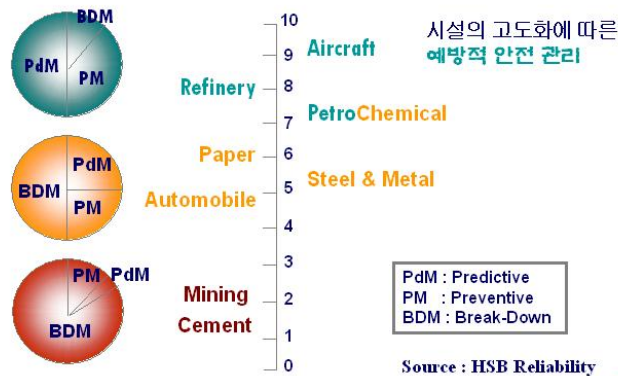


그림 1. 상대적인 위험에 따른 산업별 설비관리 기법

일반신뢰도 자료(Generic Failure Data)의 경우 비슷한 환경하의 유사한 기기장치의 신뢰도 분석에 적용하는데 많은 기관에서 이러한 자료를 발행하고 있다. 이는 플랜트, 시설 시스템, 장치의 신뢰도를 측정, 위험을 정량화, 유지관리 최적화, 위험에 따른 Risk Based 유지관리계획수립 지원, 새로운 장치의 설계향상, 수명주기에 따른 비용 최적화 등에 효과적으로 활용된다. 대표적인 일반신뢰도자료(Generic Failure Data)로는 OREDA(Offshore Reliability Data Handbook), EIREDA(European Industry Reliability Data Bank), NPRD-91(Nonelectronic Parts Reliability Data) 등이 있으며 석유화학장치의 일반신뢰도자료(Generic Failure Data)로는 CCPS(Center for Chemical Process Safety)의 PERD(Process Equipment Reliability Database) 자료가 널리 사용되고 있다. 또한 전기·전자분야의 일반신뢰도자료(Generic Failure Data)로는 IEEE(Institute Electrical and Electronics Engineers) 자료가 널리 사용되고 있다. 설비신뢰도분석기술은 역사적 정보를 이용할 수 없는 경우 공정의 구성요소자료와 운전자의 응답에 대한 기계적인 모델링 등을 사용하기도 한다[1,2]

국내에서는 모 기업이 1990년대 말 RCM기법을 도입하면서 30여년간의 설비 정비 경험을 Data Base화하여 동종 및 유사설비 고장이력을 반영 가능하도록 하였다. 분석 결과의 이행성을 중점 반영한 결과 점검 항목, 주체, 주기, 이행 및 경향 관리가 가능하게 되었고 정기 보수 항목 및 주기를 결정하는 기준을 제공하였다.

일반신뢰도(Generic Failure) 데이터의 경우 전무한 상태이며, Specific Data의 경우도 이번 조사결과 대부분 사업장에서 자료수집의 필요성을 느끼면서도 사업장의 한계 특성상 수집된 자료의 수가 극소수이며 신뢰도 또한 자료의 수 부족으로 신뢰도가 떨어지기 때문에 현실적으로 아주 초보적인 단계에 있다.

□ 데이터 수집 및 분류

설비신뢰도분석을 하기 위해서는 설비경계, 설비분류 및 고장형태에 따라 분류하는 것이 필요하다[3]. 설비경계는 그 설비에 해당되는 설비의 범위를 지정해주는 것이며, 설비분류는 설비경계를 바탕으로 정유·석유화학공장 전체설비에 대하여 각각의 설비로 분류하는 것이다. 고장형태에 따라 각 설비에 대한 운전, 보수 및 고장이력을 바탕으로 고장율을 계산하며 신뢰도 자료로부터 다음과 같은 것을 구할 수 있다.

(1) 고장율

고장율은 설비가 시간당 또는 작동횟수당 고장이 발생하는 발생율을 뜻한다. 시간당 고장율은 같은 유형의 설비종류에 대해 고장횟수의 합을 운전시간의 합으로 나눔으로써 계산할 수 있으며, 작동횟수당 고장율은 고장횟수의 합을 작동횟수의 합으로 나눔으로써 계산한다[4].

(2) 이용불능도

이용불능도는 주어진 시간에 설비가 보수 등의 이유로 인하여 이용될 수 없는 가능성을 뜻한다. 이용불능도는 같은 유형의 설비종류에 대해 각 설비가 단위공장 또는 계통으로부터 Out of service(OOS)된 시간의 합을 전체 시간으로 나눔으로써 계산할 수 있다. 이와 같이 설비종류별로 고장유형을 분류한 것을 고장모드(Failure Mode)라고 하며, 고장모드에 따라 고장율을 계산하여야 한다. 설비의 고장 정도에 따라 기능상실(Catastrophic), 기능저하(Degraded) 및 고장징후발생(Incipient) 세 가지로 분류한다[3].

- 기능상실 : 설비가 주어진 기능을 수행하지 못하는 경우에 해당한다. 펌프가 가동 중 정지하는 경우 등이 이에 해당한다.
- 기능저하 : 설비가 주어진 기능을 어느 정도(설계치 근처 또는 약간 못 미치는 정도) 수행하나 완전한 기능을 수행하지는 못하는 경우가 이에 해당한다. 기능저하 상태를 그대로 두면 설비가 기능을 완전히 상실할 수 있다.
- 고장징후발생 : 설비가 정해진 기능을 설계치 이상으로 수행하나 진동이나 소음 등이 발생하여 적어도 다음 년차 보수 기간이내에는 이 고장모드에 대한 보수가 수행되어야 하는 경우이다. 펌프에 소음이 있다거나 밸브에 아주 적은 누설이 있는 경우가 이에 해당한다.

이런 분류에 따라 얻어지는 설비신뢰도 자료는 정유·석유화학공장에서 목적에 따라 많은 분야에서 다양한 형태로 사용될 수 있으며 이러한 자료가 직접적으로 사용되는 분야는 정량적 위험평가분야이다. 장치산업은 수많은 공정과 설비로 이루어져 있으며 이러한 설비의 신뢰도를 체계적으로 분석하는 것은 손실유발요인을 예측하기 위한 중요한 요소이다. 신뢰도자료는 근본적으로 운전중인 그 독특한 시스템에 의존하며, 그 시스템으로부터 자료를 수집하여 신뢰도 자료를 생성하며 이 신뢰도 자료는 다시 시스템의 안전도를 예측하는데 사용된다. 우선 설비를 탱크나 반응기 같은 비수리모델(Non-Repairable Models)과 수리모델(Repairable Model)로 특성별로 분류하고 고장모드와 고장심각도로 나눈다. 고장모드는 설비의 고장을 기능측면에서 분류하는 것이다[5]. 예로서 펌프가 Motor 단락, 제어회로로 고장 등의 원인에 의해 기동을 실패하였을 경우 고장모드는 기동실패가 되며, 펌프가 냉각실패, 베어링손상 등으로 가동중 정지가 될 경우 고장모드는 가동중 정지가 된다. 고장심각도는 설비의 기능상실 정도를 나타내며 기능상실, 기능저하 및 고장징후발생 등과 같이 구분된다.

고장을 자료를 구하기 위해 대상설비에 대해 보수·정비작업의뢰서, 사고조사보고서, 설비이력카드, 시험보고서, 운전일지, 운전절차서, 정기점검 및 보수 절차서 등의 자료원을 확인하며 추가로 단위공장 운전이력, 설비목록 및 사양, 설비별 운전시간, 설비별 보수 및 고장이력 등을 확인한다. 이렇게 수집된 자료들로부터 설비별 고장원인 분류 및 고장모드 선정, 고장심각도 결정 및 보수작업 내용 및 보수시간 등에 대한 분석을 실시한다. 수집 또는 분석된 자료로부터 설비고장을 계산을 위해서 고장모드별 고장횟수, 설비운전시간, 설비작동횟수, 이용불능시간, 설비필요시간 등과 같은 자료를 구하여 분석한다. 또한 각종 기기고장을, 시험/보수 데이터, 공통 원인 사고분석 및 기초자료를 근거로 장치 및 설비의 고장빈도를 산출하고 이를 이용하여 개별/그룹별 기기신뢰도를 분석하는 기술이 필요하다. 기기의 물리적 경계 및 고장모드의 정의, 해당 데이터의 수집 또는 적용 근거, 해당 데이터의 산출에 적용한 통계적 모델, 절차 및 가정사항 및 불확실성 분석 등이 중요요소 기술이다.

□ 신뢰도 예측

신뢰도예측에 의해 산출되어진 신뢰도는 종종 실제 사용현장에서 발생하는 신뢰도와 현저히 차이가 나는 경우가 있는데 신뢰도예측에서는 필드고장에서 발생하는 다양한 Factor를 고려하지 못하기 때문이다. 신뢰도예측을 통하여 얻어지는 결과물은 다음과 같다[4,6].

- Failure Rate (고장률) : 어느 시점까지 고장없이 동작하던 시스템, 제품, 부품 등이 이 시점으로부터 단위시간(거리, 동작횟수 기타)내에 고장을 일으킬비율
- MTBF (평균수명) : 수리하여 가면서 사용하는 시스템, 기기, 부품등의 서로 이웃된 고장 간의 동작 시간의 평균치. 단, 고장간격이 지수분포를 따를 경우에는 고장률은 시간에 따라 일정. 이 경우 MTBF(Mean Time Between Failure)는 고장률의 역수관계. 또는, 총 동작시간을 그 기간중의 총고장수로 나눈 값으로 MTBF를 구한다.
- MTTF(평균수명) : 수리하지 않는 시스템, 기기, 부품 등의 고장까지의 동작 시간의 평균치. 수리하여 가면서 사용하는 시스템, 기기, 부품 등의 경우는 MTBF와 동의어이나 수리하지 않는 시스템, 기기, 부품 등의 경우는 MTTF (Mean Time To Failure)라 한다.
- Reliability(신뢰도) : 시스템, 기기, 부품 등이 규정된 조건에서 어떤 정하여진 조건아래서 의도하는 기간 동안 고장 없이 정해진 기능을 발휘할 확률. 대표적 고장유형인 육조형 곡선을 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

전형적인 육조형 고장유형은 아래 그림과 같으며 대부분의 기계장치들이 이러한 고장유형을 갖는다. 민감도 및 불확실성 분석은 수집된 고장 Data가 충분하면 일반적인 통계방법 사용하고 Data 개수가 10개 미만인 경우에는 신뢰도 공학 전문가의 판단과 Bayesian 분석법을 활용한다[7].

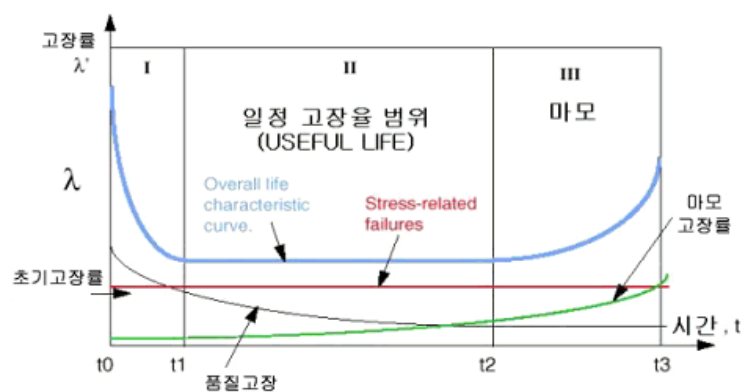


그림 2. 육조형 곡선

제품의 초기고장이 제조나 조작, 공정관리의 결함에 의해 증가 고장률이 있는 육조곡선으로서 초소형 전자부품이 이러한 유형을 보인다.

□ 일반신뢰도 자료(Generic Reliability Data)

신뢰도 자료에는 크게 고유신뢰도 자료(Plant Specific Reliability Data)와 일반신뢰도 자료(Generic Reliability Data)로 나눌 수 있다. 고유신뢰도 자료는 특정공장에 대해 보수 및 고장이력을 수집하고 분석함으로써 얻어지는 자료이다. 정량적 위험 평가에는 고유신뢰도 자료를 사용하는 것이 보통이며, 고유신뢰도 자료를 얻기 위해서는 많은 기간동안 설비들에 대한 보수 및 고장이력을 수집하고 분석하는 노력이 필요하다. 해외의 경우 원자력을 중심으로 고유신뢰도 자료를 가지고 있으나 국내의 경우에는 고유신뢰도 자료는 전무한 상태이다. 많은 경우 고유신뢰도 자료를 가지고 있지 못하며 있다 하더라도 일부 설비에 대해서는 보수 및 고장자료가 충분하지 못하여 신뢰할 수 있는 신뢰도 자료를 도출할 수 없는 경우가 많다. 이러한 경우에는 다른 문헌에 주어진 일반신뢰도 자료를 사용할 수 있다. 일반신뢰도 자료는 크게 두 가지로 나눌수 있는데 하나는 같은 유형의 공장들에 대해 수집한 자료를 분석한 결과를 제시하는 문헌이며, 두 번째는 이렇게 분석된 결과들을 수집하거나 다른 문헌의 자료를 정리하여 제시하는 문헌이다. 또한 일부 설비에 대한 신뢰도 자료를 구할 수 없는 경우에는 전문가들의 판단에 의해 값이 결정되는 경우도 있다. 일반신뢰도 자료가 없는 경우에는 참고용으로 사용할 수 있다. 그러나 같은 종류의 설비일지라도 사용목적, 사용환경, 정비방법에 따라 신뢰도가 크게 차이가 날수 있다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 일반신뢰도 자료를 소개하면 다음과 같다.

- ISO 14224 : 13가지로 대 분류하며 분류방법은 설비의 영문 첫 단어를 표기하며 설비간 쉽게 구분이 가능하고 Maintenance가 용이 함.
- CCPS PERD : 5가지로 대 분류하며 숫자로 분류하며 그 방법이 단순함[2].
- OREDA : 12가지로 분류하며 분류항목은 ISO 분류와 비슷하고 숫자로 분류함[3].

참고문헌

1. IAEA, "Component Reliability Data for Use in PSA", 1988
2. CCPS of the AIChE, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", 1989

3. OREDA 3rd Edition, "Offshore Reliability Data Handbook", 1997
4. 이상용, "신뢰성공학", 형설출판사
5. Clyde Granger and Pradeep Kumar, "PM Industrial Engineering", Research & Education ASSN
6. Frank P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industry", 2001
7. Harry F. Martz and Raya Waller, "Bayesian Reliability Analysis", 1984