



화학공장 설비 및 기기에 대한 신뢰도 데이터베이스 구축

†고재욱 · 권혁면*

광운대학교 화학공학과, *한국산업안전공단 중대산업사고예방실
(2006년 2월 2일 접수, 2006년 3월 9일 채택)

Equipment Reliability Database for Chemical Plants

†Jae Wook Ko · Hyuk Myun Kwon*

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul Nowon-Gu, Korea
*Dept. of Major Industrial Accident Prevention, KOSHA, Incheon Bupyeong-Gu, Korea
(Received 2 February 2006, Accepted 9 March 2006)

요 약

산업재해를 방지하고 사고시에 적절한 대책을 마련하기 위해서는 각 위험설비와 위험물질로부터 발생할 수 있는 사고유형, 발생가능성 및 피해를 객관적인 단위로 평가하는 정량적 위험성평가가 수행되어야 하며, 이러한 정량적 평가를 수행하기 위해서는 신뢰도 데이터베이스가 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 사업장에서 설비 및 기기에 대한 신뢰도 데이터베이스를 구축하기 위해서 신뢰도 데이터 수집 및 분석체계구축, 자료 입력 및 분석 소프트웨어를 개발하여 구축된 자료를 토대로 정량적 위험성 평가에 활용할 수 있는 방법론을 제시하였다.

Abstract – Chemical plants should perform Quantitative Risk Assessment that evaluates types of accident, frequency and damage which can happen through using the hazardous equipment and the hazardous materials for preventing and preparing industrial disasters. It is necessary that Chemical plants should include the reliability database which efficiently evaluate the Quantitative Risk Assessment. So in this study, we suggest a which methodology applies Quantitative Risk Assessment on the basis of the constructed data to imply the reliability of industrial facilities and equipment, collection of reliability data, system analysis and development of software.

Key words : Equipment reliability, Chemical plant, Risk assessment, Database, K-Rdb

I. 서 론

중대산업사고에 대한 대비로써 주요 위험설비에 대한 위험성평가, 위험요소의 제거 및 통제 방법 수립, 비상대책 등의 체계적인 안전대책 수립에 대한 필요성이 증대되고 있다. 미국 및 유럽연합 국가들은 화학공장의 사고예방 기법을 연구하여 보급하고 있으며, 일부 국가는 유해물질 취급 사업장을 대상으로 위험성 평가 기법을 이용한 법적 기준을 제시하고 있다. 국내에서는 1996년부터 석유화학공장 및 위험물 취급 설비에 대하여 공정안전관리제도(Process Safety Management)를 시행하고 있다. 산업재해를 방지하고 사고시의 적절한 대책을 마련하기 위해서는 위험설비 및 물질의 취급 현황을 파악하고 관리하여야 하며, 각 위험설비와 위험물

질로부터 발생할 수 있는 사고의 유형, 발생가능성 및 그로 인한 피해를 객관적인 단위로 평가하는 정량적 위험성평가가 수행되어야 한다. 또한, 위험성 평가를 근거로 위험설비 및 물질에 대한 위험성 감소방안을 도출하고, 만일의 사고에 대한 대책을 포함하여 종합적이고도 체계적인 안전관리체제의 구축을 이루어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 확률론적 위험성 평가에 필요한 기반기술 구축을 위하여 국내 화학공장 기기 신뢰도 자료 수집 및 분석을 위한 전산 시스템을 개발하고, 국내 화학공장의 기기 신뢰도 자료를 수집·분석하여 신뢰도 자료를 정량적 위험성 평가와 연결함으로써 정비 최적화를 수행할 수 있는 K-Rdb(KOSHA- Reliability Database)를 개발하였다.

*주저자:jwko@daisy.kw.ac.kr

II. 설비신뢰도 데이터 수집 및 DB 구축

2.1. 설비 종류별 기초 자료

설비신뢰도 데이터는 사업장의 설비사양, 보수 및 고장자료를 데이터베이스화하고, 이를 분석하여 신뢰도 자료를 계산할 수 있다. 이 분석에 앞서 다음과 같은 자료가 추가로 준비되어야 한다.

- 설비종류 분류 : 설비 종류 및 각 설비종류에 대한 상세 사양 분류
- 설비경계 : 각 설비종류에 대한 정의
- 설비별고장모드 : 각 설비종류별 고장모드

2.2. 자료수집 양식

신뢰도 계산에는 같은 유형의 설비종류 및 고장모드에 대해 고장횟수, 설비운전시간 총계, 설비작동횟수 총계, 이용가능시간 총계 등이 필요하다. 이와 같은 자료를 도출하기 위해서는 각 설비별로 설비종류를 분류하고, 설비의 자료수집기간 및 이 기간동안의 운전시간 및 작동횟수, 그리고 수집기간동안 이루어진 보수 및 고장에 대한 자료를 상세히 입력하여야 한다. 또한, 설비보수 및 고장이 단위공장에 미치는 영향을 평가하는데 참고가 되는 단위공장의 운전정보 자료 및 보수·고장자료를 평가하는데 참고가 되는 자료들을 입력하여야 한다.

2.3. 설비신뢰도 데이터베이스 구조

설비신뢰도 데이터베이스 구축을 위해서 화학설비 신뢰도 DB 구축을 위한 보수·고장이력 작성 지침을 작성하였다. 이 지침에는 자료수집 대상인 단위공장 정보, 설비정보, 설비자료 수집기간 및 운전정보, 설비의 보수 및 고장이력에 대한 입력양식은 물론 각 항목에 대한 작성요령 및 신뢰도 자료 수집 분류에 필요한 자료들로 구성되어 있다. 이 자료수집 양식에 따라 K-Rdb에서 사용할 신뢰도 데이터베이스 구조를 작성하였고, 구조의 개념은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 하나의 사

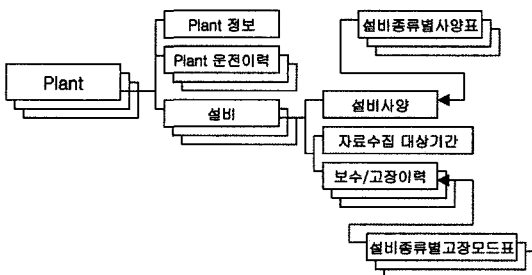


Fig. 1. 설비신뢰도 데이터베이스 구조.

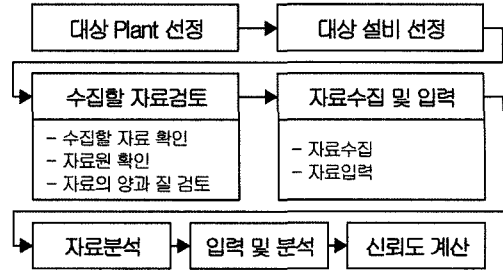


Fig. 2. 신뢰도 자료 수집 절차.

각형은 각각에 대해 하나의 자료만 입력된다는 것을 뜻하며, 사각형이 중첩된 것은 각각에 대해 다수의 자료가 입력될 수 있다는 것을 의미한다.

2.4. 신뢰도 자료 수집 절차

신뢰도 자료를 수집하고 분석하는 업무는 많은 시간적 노력이 필요하다. 특히, 수집된 자료의 질을 확보하기 위해서는 많은 노력을 기울여야만 신뢰도 자료로서의 가치가 높아진다. 설비신뢰도 자료를 수집하는 절차를 요약하면 Fig. 2와 같다.

2.5. 시범사업장 신뢰도 데이터베이스 구축

시범사업장의 신뢰도 DB를 구축하기 위하여 대신, 울산에 위치한 여러 사업장의 DB 현황을 직접 방문하여 파악하였고, DB 구축 시범사업장으로 보수이력을 전산관리하는 사업장중 4개의 시범 사업장을 선정하고, 약 50,000건의 보수이력을 수집하였다. 각 사업장

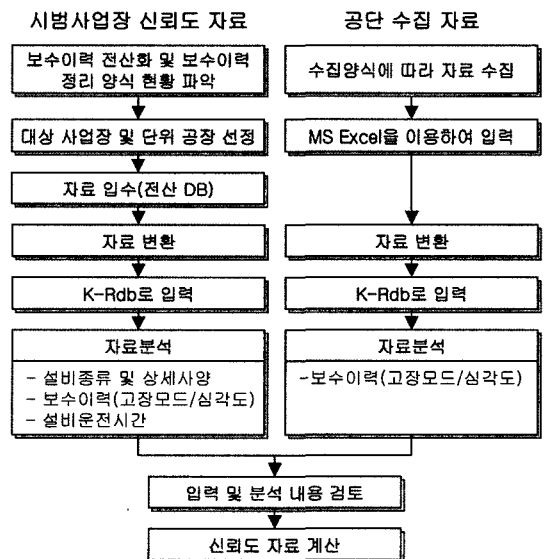


Fig. 3. 설비 및 기기신뢰도 DB 구축.

에서 단위공장 1개 이상을 선정하여 총 7개의 단위공정에 대해 보수 및 고장 이력 자료를 분석하였다.

수집된 자료들을 검토하고 신뢰도 분석 양식에 적합하도록 변환 작업을 수행하여 K-Rdb로 입력하였다. 각 시범사업장의 설비 및 기기의 입력 자료를 분석하여 설비종류 및 세부사양을 분류하였다. 이로부터 각 설비종류별로 설비 수 및 입력된 보수이력의 수를 검토하여 분석대상 설비종류와 설비수를 선정하였다. 또한, 보수 이력을 검토하여 고장모드 및 고장심각도를 분석하였고, 각 설비 및 기기에 대한 운전시간을 입력하였으며, 이러한 입력 및 분석내용을 검토하여 신뢰도 자료를 분석하였다. 시범사업장 신뢰도 자료 수집 및 수집 결과를 K-Rdb에 입력하는 절차를 요약하면 Fig. 3과 같다.

2.6. 일반신뢰도 자료

신뢰도 자료에는 크게 고유 신뢰도 자료(Plant Specific Reliability Data)와 일반 신뢰도 자료(Generic Reliability Data)로 나눌 수 있다. 고유 신뢰도 자료는 특정 공장에 대해 보수 및 고장이력을 수집하고 분석함으로써 얻어지는 자료이다. 정량적 평가에는 고유 신뢰도 자료를 사용하는 것이 바람직하며, 고유 신뢰도 자료를 얻기 위해서는 많은 기간동안 설비들에 대한 보수 및 고장이력을 수집하고 분석하는 노력이 필요하다.

많은 경우 고유 신뢰도 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 일반 신뢰도 자료를 사용할 수 있다. 일반 신뢰도 자료는 크게 두가지로 나눌 수 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 결정되어 제공되는 경우도 있다.

일반 신뢰도 자료는 신뢰도 자료가 없는 경우에 참고용으로 사용할 수 있다. 그러나, 같은 종류의 설비일 지라도 사용목적, 사용환경, 정비방법에 따라 신뢰도가 크게 차이날 수 있다. 따라서, 각 사업장에서 설비에 대한 보수 및 고장이력을 지속적으로 수집하여 신뢰도 자료를 도출하여 사용하는 것이 가장 바람직하다.

III. 신뢰도 데이터 입력 소프트웨어 개발

K-Rdb는 Visual basic 6.0과 Apex사의 True DB Grid

4.0c를 이용하여 개발하였고, 화학공장의 설비 및 기기에 대한 사양, 보수 및 고장이력, 운전 이력 등을 입력하고 관리할 수 있다. 또한, 입력된 정보로부터 설비별 보수 횟수 및 총보수시간, 평균보수시간, 총이용불능시간과 평균이용불능시간, 고장률 등을 산정할 수 있는 기능을 제공한다.

3.1. K-Rdb의 데이터베이스

K-Rdb는 사용자 데이터베이스와 공용 데이터베이스로 구분되며, 상세한 내용은 다음과 같다.

3.1.1. 사용자 데이터베이스 파일

사용자 데이터베이스 파일은 각 사용자가 입력하는 자료가 저장되는 파일이며 Table 1과 같은 자료가 저장된다.

Table 1. User 데이터베이스.

표이름	내 용
설비목록	사업장 설비 목록으로서 설비번호, 설비명, 설비 사양 등을 기록
설비보수이력	설비별 보수이력 기록
설비자료수집기간	설비별 자료수집 대상기간 및 운전시간, 작동횟수 등을 기록
플랜트 정보	사업장이 플랜트(단위공장)에 대한 단위공장 ID, 이름 등을 기록
플랜트 운전이력	각 플랜트별 운전이력을 기록
버전	K-Rdb의 각종 옵션을 기록
약어표	사업장에서 K-Rdb에 입력하는 약어들을 기록
기타	참고용으로 사용

Table 2. Generic 데이터베이스.

표이름	내 용
분석항목 세부목록	분석대상이 되는 설비종류 및 사양을 정의
사용코드	K-Rdb에서 사용되는 항목들을 정의
설비경계 그림	주요설비에 대한설비경계의 그림을 저장
설비별 장모드	설비종류별로 고장모드 정의
설비별/사양별항목	각 플랜트별 운전이력을 기록
설비종류별사양	K-Rdb의 각종 옵션을 기록
설비종류	설비종류 나열
일반신뢰도자료	설비종류별로 다른 문헌데이터를 이용한 신뢰도 자료
버전	DB의 버전을 정의한 표

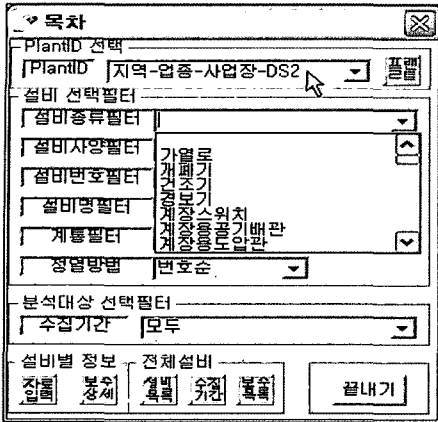


Fig. 4. 목차 모듈.

3.1.2 공용 데이터베이스 파일

공용 데이터베이스 파일은 K-Rdb의 기본적인 데이터를 저장하고 있는 파일로서 Table 2와 같은 자료가 K-Rdb와 함께 제공된다.

3.2. 목차 모듈

목차 모듈은 Fig. 4와 같이, Plant ID 선택, 설비종류 선택, 설비번호, 설비명 필터 지정, 정열방법 등을 지정할 수 있다. 여기서 지정된 사항에 따라 설비가 선택되어 설비목록, 보수이력 등에 나타난다. 목차 모듈에서 설비를 선택하는 기준을 변경하였을 경우에는 작업 중인 표에서 다시 선택단추를 클릭하면 목차의 기준에 따라 설비 등이 다시 선택된다.

목차에서는 입력된 자료의 Plant ID, 설비종류 등을 볼 수 있으며 이로부터 해당 플랜트 및 설비를 선택하고 이에 대한 작업을 수행하기 위한 것이다. 설비가 많은 경우에는 설비종류 필터, 설비번호필터, 설비명 필터를 이용하여 원하는 설비들만을 나타나게 할 수 있다. 또한, 선택된 설비에 대해 자료입력, 보수상세, 설비목록, 수집기간, 보수목록 버튼을 이용하여 작업을 수행할 수 있다.

3.3. Plant 정보 모듈

신규 플랜트를 입력하기 위해서는 먼저 Plant ID를 생성하여야 한다. 그리고, 이 Plant ID에 대해서 설비목록 및 보수이력을 입력하여야 한다. Plant 정보는 목차 모듈에서 플랜트 단추를 클릭하거나, 양식메뉴의 플랜트 정보 부메뉴를 이용하면 Fig. 5와 같은 윈도우가 나타난다. 이 윈도우에서 Plant 정보를 입력하고 수정할 수 있다.

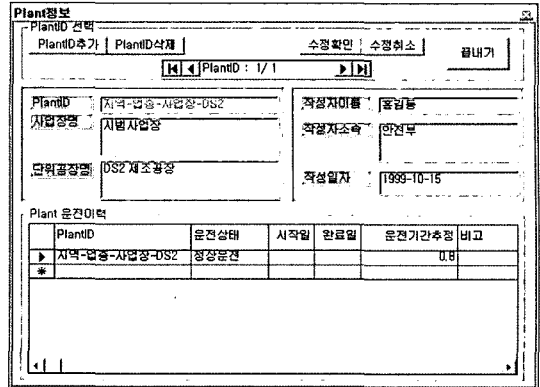


Fig. 5. 플랜트 정보 모듈.

3.4. 자료입력모듈

자료입력모듈에서는 Fig. 6과 같이 설비별 사양정보 및 보수이력 정보를 입력할 수 있다. 자료입력모듈에서 설비운전조건, 자료수집기간 및 운전정보에 관한 사항을 입력하기 위해서는 해당 탭을 클릭 하여 관련항목을 입력할 수 있다.

Fig. 6의 설비운전조건 및 기타 탭에서는 운전조건(취급유체, 설계압력, 설계온도, 운전압력, 운전조건)과 제조업체 및 운전시작일 등에 관한 정보를 입력·관리할 수 있다. 그리고, 자료수집기간 및 운전정보 탭에서는 수집시작일·수집완료일, 정상운전시간, 정상작동횟수, 연간보수시간, 연간보수횟수 등에 관한 정보를 입력·관리할 수 있다.

또한, 보수이력 탭에서는 Fig. 7과 같이 고장모드, 고장심각도, 고장원인 및 내용, 보수구분, 보수우선순위, 보수시작일, 보수완료일, 보수시간, 이용불능시간, 보수

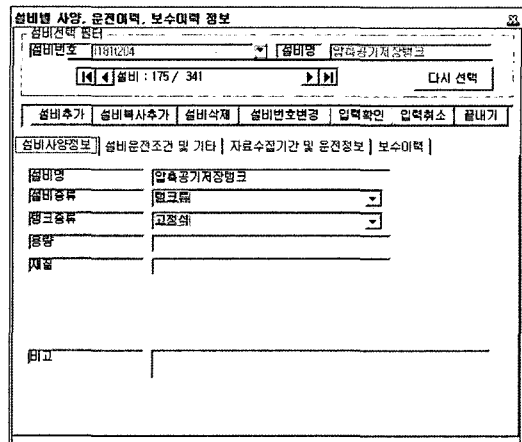


Fig. 6. 설비사양정보.

설비번호	고장상태도	고장모드	고장형인원내용	보수작업 형인	보수부 순순위	작업요
1181204	기능저하	기능 불량	용축수가 Drain되지 않음, 이물질 축적	고장보 수		
1181204	기능저하	기능 불량	압력계미시 지지불 량, 부름조임	고장보 수		
1181204	고장장류 발생		안전판 플랜지대 누 출, 부름조임 불량	예방보 수		
1181204	기능저하	누출	Outlet Nozzle의 Leakage, 부름조임	고장보 수		

Fig. 7. 보수이력.

Fig. 9. 선택된 설비의 보수내용.

설비번호	설비명	설비종류	시량1	시량2	시량3	시량4	스
KJ-94272	부동액 전압공급장치(LPS)	UPS		니탈-카드검			
1131203	입력공기저장탱크	입력용기				0.7m ³	
L181E101	냉매면의 윤활 콘베이어	본래이머	법도적			5m/min, 50kg	
L181F301	Rolling M/C의 압수축환	호스	다자적			1 T/2	
L181C201	#1 Air Compressor	압축기	모터구동	1번		2%w	2
L181C202	#2 Air Compressor	압축기	모터구동	다자적	1번	2%w	2
1181204	입력공기저장탱크	탱크류	고장적			2m ³	
L201J208	110℃ temperature indicating	계정소위차	판도			0~100℃	
LB-35-901	Normal Incoming Low Voltage	계전기	기타		기타	3000AF/200V	
CCV-647	VS-341	지압계타입	Pneumatic	기타	디미터프만	Globe	25A
UCA-203-13	DT Pump Tank	액체계	기타				

Fig. 8. 설비목록 모듈.

작업내용 등에 관한 정보를 검토할 수 있다.

3.5. 설비목록모듈

데이터베이스화된 설비의 수가 많을 경우, Fig. 8을 이용하여 설비사양을 수정할 수 있다. 자료입력모듈에서는 설비번호를 변경하면 해당되는 운전이력 및 보수이력 정보가 연결되어 변경된다. 그러나, 설비목록에서는 설비번호를 변경하면 설비목록의 설비번호만 변경되므로 해당되는 운전이력 및 보수이력 정보를 상실할 수 있다. 따라서, 전문가 및 관리자가 아닐 경우에는 설비번호를 변경하지 않아야 한다.

또한, 설비목록 모듈에서는 해당설비를 선택하고, 보수이력 버튼을 클릭하면 Fig. 9와 Fig. 10과 같이 보수내용 및 고장모드에 대한 상세 정보를 검토할 수 있다.

3.6. 입력자료 분석 모듈

K-Rdb에 입력된 자료로부터 설비종류별 신뢰도 자료를 계산할 수 있다. Fig. 11에서와 같이 분석 수행

Fig. 10. 선택된 설비의 고장모드.

Fig. 11. 설비신뢰도 분석.

도우에서는 설비별 분석을 수행하기 위해서 조사시간, 운전이력, 보수이력, 고장이력 분석을 수행하고, 설비종류별 분석을 수행하기 위해서 설비종류선택, 설비

구분	탱크류	141	결과기	
설비수	21	이력조사시간총계(일)	34449	
분석대상설비수	18	공정운영일수총계(일)	27559.2	
설비운영일수(일)	26580.17	작동횟수총계	0	
보수횟수총계	18	보수빈도(/yr)	2.38e-1	
기능상실횟수총계	4	기능상실빈도(/yr)	5.3e-2	
기능저하횟수총계	11	고장빈도(/yr)	8.21e-2	
평균보수시간(hr)	18.08	평균OOS시간(hr)	76.25	
고장모드	기능상실총계	기능저하총계	고장점후발생총계	고장률(/yr)
기동불량		3		7.95e-3
누출	1	6		2.91e-2
두께감소	3			3.97e-2
막힘		2		5.3e-3

Fig. 12. 설비신뢰도 분석 결과.

수, 운전이력, 보수이력, 고장이력 분석을 수행할 수 있다. 1단계와 2단계 분석을 수행한 후에 결과정리보기 버튼을 클릭하면 설비종류별로 분석 결과를 검토할 수 있다.

결과정리보기 버튼을 클릭하면, Fig. 12와 같이 설비종류별분석결과 윈도우가 나타나고 사용자가 검토하고자 하는 설비종류별 고장모드, 고장율 등에 관한 정보를 검토할 수 있다. 따라서, 사용자는 FTA(Fault Tree Analysis) 또는 ETA(Event Tree Analysis)를 이용하여 설비의 빈도 분석시 고장모드별 고장율을 검색하여 위험성평가를 수행할 수 있다.

IV. 결 론

산업재해를 방지하고 사고시에 적절한 대책을 마련

하기 위해서는 각 위험설비와 위험물질로부터 발생할 수 있는 사고유형, 발생가능성 및 피해를 객관적인 단위로 평가하는 정량적 위험성 평가가 수행되어야 하며, 이러한 정량적 평가를 수행하기 위해서는 신뢰도 데이터베이스가 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 사업장에서 설비 및 기기에 대한 신뢰도 데이터베이스를 구축하기 위해서 신뢰도 데이터베이스 수집 및 분석체계구축, 자료입력 및 분석 소프트웨어를 개발하여 구축된 자료를 토대로 정량적 위험성 평가에 활용할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 신뢰도 데이터베이스 구축 및 입력 소프트웨어는 국내 화학공장의 방대한 보수 및 고장자료를 체계적으로 수집하여 분석할 수 있는 기틀을 마련함으로써 위험설비 데이터베이스와 함께 정량적 위험성평가 및 위험설비 안전관리 체제의 가장 기본이 되는 정보기반을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 더 연구되어야 할 사항으로는 K-Rdb의 데이터베이스를 이용하여 K-Rdb에서 FTA와 ETA를 수행할 수 있는 기능을 추가하여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 한국산업안전공단, “위험설비 및 위험물질 전산관리 체계 구축”, (1997)
- [2] CCPS, “Guidelines for Process Equipment Reliability Data”, (1989)
- [3] NUREG/CR-2886, U.S. NRC, “The In-Plant Reliability Data Base for Nuclear Power Plant Components”, (1982)
- [4] Ontario Hydro, “Darlington Probabilistic Safety Evaluation”, (1987)
- [5] OREDA-92, DNV Technica, “Offshore Reliability Data Handbook, 2nd Edition”, (1992)