

한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램 개발

이헌창, 김환주, 신평식¹, 임대식¹, 김태옥*
 명지대학교 화학공학과, 한국산업안전공단¹
 (kimto@mju.ac.kr*)

Development of K-RBI Program

H. C. Lee, H. J. Kim, P. S. Shin¹, D. S. Lim¹, T. O. Kim*
 Dept. of Chem. Eng., Myongji University, KOSHA¹
 (kimto@mju.ac.kr*)

서론

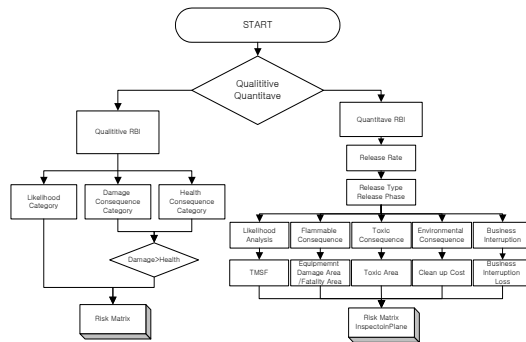
산업기술이 급속하게 발전함에 따라 각종 시설과 설비들이 복잡·다양화되고 있으며, 더욱이 생산효율을 증가시키기 위해 압력설비와 같은 고온·고압의 조건 하에서 운전되는 시설 및 설비가 급증하고 있다. 이와 같은 장치들은 설치 후 시간이 지남에 따라 점차 노후화됨으로써 보수, 대체 또는 폐기하고 있으나, 경제적 또는 환경적 요인으로 인하여 이들의 보수나 대체가 용이하지 않음을 고려할 때, 이로 인한 대형사고의 가능성은 어느 때보다도 높아지고 있다. 따라서 노화된 장치들은 유지·보존 상태와 경제성 및 안전성에 따라 가장 효과적인 방법으로 적절한 시기에 검사하고 보수해야될 필요성이 대두되며, 이를 해결하기 위해서는 국내 실정에 맞는 적절한 안전관리기법의 개발이 시급히 요구된다. 이와 같은 필요성에 적합한 기법이 미국에서 개발된 RBI(Risk Based Inspection) 기법으로, 이 기법은 최근 미국(APTech, Capstone, DNV 등), 유럽(Shell, AEA, Tischuk, TWI 등) 등 선진국을 중심으로 급속히 발전·보급되고 있다. 국내에서는 LG-Caltec정유(주), 금호석유(주), (주)SK 등이 막대한 양의 외화를 지불하고, RBI 기법을 이용하여 몇 개의 공장을 분석한 바 있으나, 아직까지 도입 초기단계에 머무르고 있는 실정이다.

본 연구에서는 API-581 BRD(Base Resource Document)를 바탕으로 종합 알고리즘을 작성하여 압력설비의 위험도를 산출하고, 손상기구를 분석하여 장치에 대한 위험도를 평가하여 검사계획을 수립할 수 있는 한국형 RBI 프로그램을 개발하고자 하였다.

본론

2-1. RBI 개요

API-581에서 개발된 RBI는 [그림 1]과 같이 정성적 단계와 정량적 단계로 구성되며, 정성적인 단계는 공장 전반에 대한 유닛 또는 주요 시스템에 대한 검사 우선순위를 결정하기 위한 방법이고, 정량적 단계는 사용물질로부터 피해 발생확률과 피해크기, 그리고 재정적 손실로부터 정량적인 방법에 의해 설비 또는 주요 시스템의 요소에 대한 위험도 평가를 실시하여 검사 우선순위에 따라 검사계획을 수립하는 방법이다.



[그림 1] API-581에 근거한 RBI 순서도

정성적 RBI는 3개의 범주, 즉 사고발생 가능성, 장치손상피해, 건강피해로 구분하고, 장치손상피해와 건강피해 중 큰 등급을 피해크기 등급으로 설정한다. 이때 사고발생 가능성

은 장치계수, 손상계수, 검사계수, 상태계수, 공정계수, 그리고 설계계수에 의해 결정되며, 장치손상피해는 화학물질계수, 물질량계수, 상태계수, 발화계수, 압력계수, 그리고 신뢰도 계수에 의해 결정된다. 그리고 건강피해는 독성량계수, 분산계수, 신뢰도계수 및 인구계수에 의해 결정된다. 이와 같이 결정된 사고발생 가능성 등급과 피해크기 등급을 이용하여 행렬에 각각 세로와 가로에 나타내어 정성적 위험도를 결정한다.

정량적 RBI는 장치에 대한 위험도를 산출하여 검사의 우선순위를 결정하는 방법으로, 이때 사용하는 시나리오별 위험도(risk)는 사고발생 가능성과 사고결과 크기의 곱으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$(Risk)_s = (Likelihood\ of\ Failure)_s \times (Consequence\ of\ Damage)_s \tag{1}$$

여기서 s는 누출 시나리오, Risk는 누출 시나리오에 대한 위험도를 나타내며, 각 장치에서 최종 위험도는 장치의 모든 누출시나리오에 대한 합으로 식 (2)와 같이 표현된다.

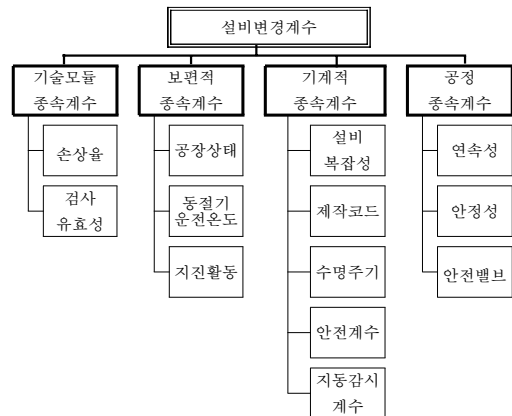
$$(Risk)_{Equipment} = \sum_s (Risk)_s \tag{2}$$

고장빈도는 각 장치의 일반 고장발생 빈도와 설비변경계수, 그리고 관리시스템 평가계수로부터 산출된다. 이때, 설비변경계수는 각 장치의 운전 또는 조건과 관련된 기술종속 계수, 보편적 종속계수, 기계적 종속계수, 그리고 공정 종속계수로부터 결정되며, 각 계수 들은 [그림 2]와 같이 세부항목들로부터 결정된다.

관리시스템 평가계수는 유해물질 누출을 방지 하고, 공정설비의 기계적 건전성을 유지하는데 영향을 주며, 1000점(100%) 만점으로 평가하는데, 이 값을 인자로 변화하여 장치들의 상대적 위험도를 바꾸는 것이 아니라 전체 장치들의 절대적인 위험도를 높이거나 낮추는데 사용된다.

사고결과 크기는 대표유체 및 유체의 특성결정, 누출공 선택, 유체의 총 누출량 또는 누출속도 산출, 확산 및 피해크기를 결정을 위한 유형 결정, 유체의 최종상태 결정, 누출 후 반응영향 평가, 그리고 누출에 의해 잠재적으로 영향을 받는 영역으로 평가되거나 운휴 또는 환경정화로 인한 누출 피해비용으로 산출된다.

이와 같이 고장발생 가능성과 사고결과 크기로부터 위험도를 산출하고, 물질 DB, 재질 DB, 파이프 Spec. DB, 파손기구 DB 등을 사용하여 적용대상 설비에 대한 기술종속계수를 산출하고, 이를 사용하여 검사계획을 수립한다.

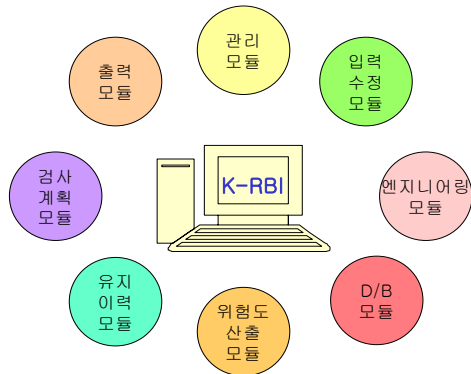


[그림 2] 설비변경계수의 개요

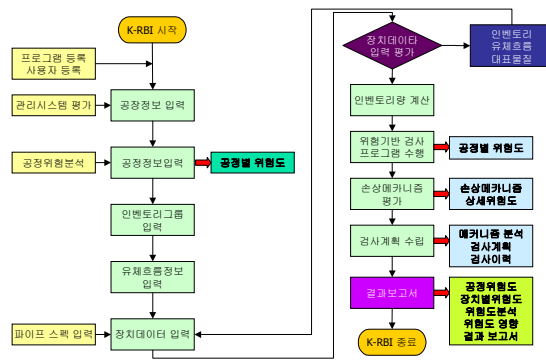
2-2. K-RBI 프로그램

한국형 위험기반검사 프로그램(K-RBI)은 API-581의 절차를 바탕으로 종합 알고리즘을 작성하고, [그림 3]과 같이 8개 모듈로 구성하여 실행되도록 개발하였다. 즉, 사용자 등급 관리, DB 입·출력 경로 지정 및 저장, 그리고 환경설정 등의 기능을 위한 관리모듈, 공정 흐름 성질의 입력 및 수정, 사용환경 입력 및 수정, 압력설비 데이터의 입력 및 수정, 파이프 스펙 입력 및 수정을 위한 입력 및 수정 모듈, (비)보온재 내·외 부식율, 설비상태, 검사 신뢰도, 파손기구에 대한 엔지니어링 모듈, 사용물질 DB, 사용재질 DB, Pipe Spec. DB, 파손기구 DB, 데이터 송수신 기능과 관련된 DB 모듈, 정성적 위험도 계산, 정량적 위험도 계산, 위험도 순위결정을 위한 위험도 산출모듈, 설비의 검사이력 반영 및 보수 교체시 위험도를 재산출하기 위한 유지보수이력 반영 모듈, 전체설비의 위험도를 줄일 수 있는 위험감소 프로그램 설계와 위험감소를 위한 종합적 관리대책 수립을 위한 검사계획

모듈, 그리고 입·출력 자료, 결과 등을 보고서 양식에 맞게 화면과 프린터를 통해 출력하여 사용자가 이용할 수 있도록 하는 보고서 출력 모듈로 구성하였다.

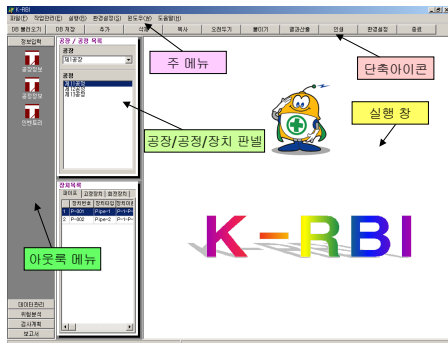


[그림 3] 프로그램 모듈 구성

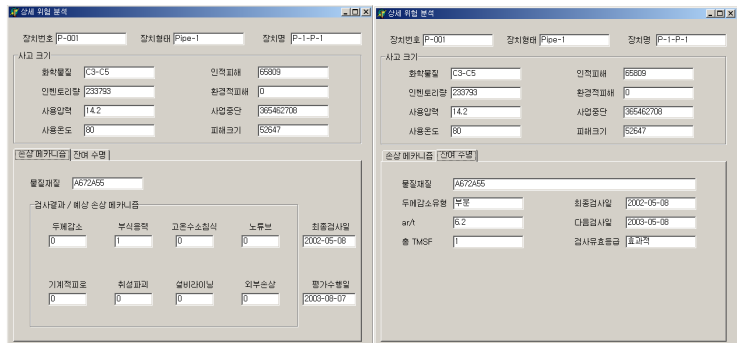


[그림 4] K-RBI 프로그램의 실행

K-RBI 프로그램의 실행절차는 [그림 4]와 같이 공장과 공정에 대한 정보를 입력 후 인벤토리 그룹을 정의하고, 유체 및 장치의 정보를 엑셀프로그램으로 입력하여 인벤토리 량을 계산하며, 장치에 대한 위험도를 분석한다. 이때 장치의 물질재질은 ASME B31.3의 데이터를 DB화하여 수록하여 프로그램에서 사용할 수 있도록 하였으며, KS, JIS, DIN에 대해서도 각각 약 300 개를 DB화하였다. 또한 화학물질의 경우, 일반적으로 많이 사용되는 2000 여종을 DB화하여 사용이 가능하도록 하였다. 이와 같은 절차에 따라 K-RBI를 수행하는 메인화면은 [그림 5]와 같이 주메뉴, 단축아이콘, 아웃룩메뉴, 공장/공정/장치 판넬, 그리고 실행창으로 구성되었다.



[그림 5] 프로그램의 메인화면

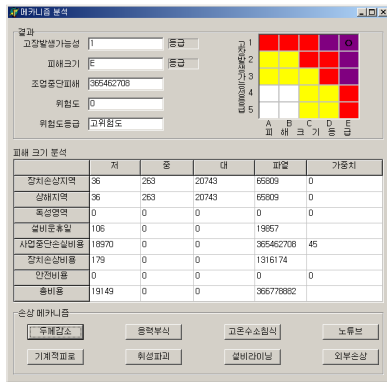


[그림 6] 상세위험 분석화면

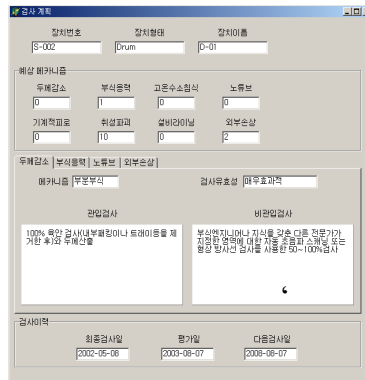
장치에 대한 위험도 분석은 [그림 6]과 같이 사고결과 분석과 손상메카니즘 분석, 그리고 잔여 수명예측이 가능하도록 하였다. 또한 검사에서 손상메카니즘에 대한 상세분석이 [그림 7]과 같이 가능하도록 하였으며, 이로부터 [그림 8]과 같이 장치 검사계획을 제시할 수 있도록 하여 사용자가 다음 검사일에 검사의 유효성에 따라 검사할 수 있다. 또한 [그림 9]와 같이 공정의 손상메카니즘 및 위험도 분석이 가능하도록 하였고, 모든 결과는 [그림 10]과 같이 출력을 통해 사용자가 볼 수 있도록 개발하였다.

개발된 K-RBI 프로그램은 Win 98 환경 이상에서 운영되며, 상위버전과 호환성이 유지되고, 비주얼 언어의 일종인 Delphi 6.0을 사용하여 사용자가 손쉽게 활용할 수 있도록 하였다.

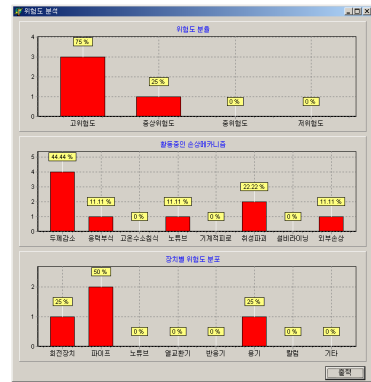
이와 같이 K-RBI 프로그램은 사고발생 가능성과 장치의 피해등급을 통해 위험도를 산출하고, 손상메카니즘을 통해 TMSF, 검사 유효성, 검사주기 등을 이용하여 세부적인 검사방법을 제시할 수 있도록 하였다.



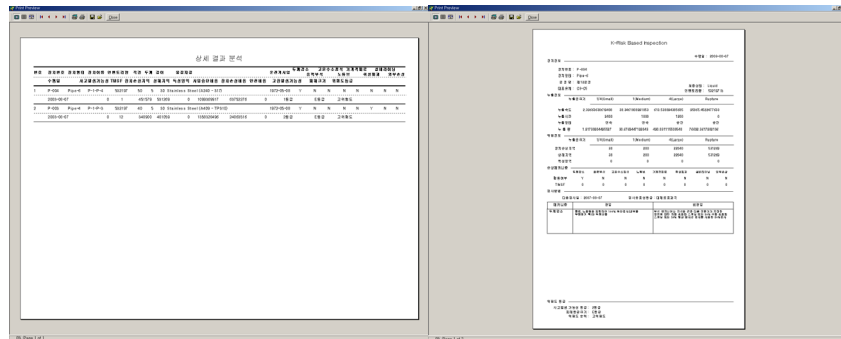
[그림 7] 손상메카니즘 분석화면



[그림 8] 장치 검사계획 분석화면



[그림 9] 위험도 분석화면



[그림 10] 결과레포트 출력화면

결론

석유화학, 정유, 가스, 화학설비 등의 압력설비를 안전하고 효율적으로 사용하기 위하여 설비별 위험도를 정성적 및 정량적으로 산출하고, 위험도 순위에 따라 설비의 검사, 유지 및 보수의 우선순위를 결정하는 한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 개발하였으며, 개발된 K-RBI 프로그램은 Delphi 6.0을 사용하여 사용자가 손쉽게 활용할 수 있도록 하였다. 따라서 K-RBI 프로그램의 보급을 통하여 많은 사업장에서 검사주기 변경 등으로 막대한 양의 경비와 외화를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 RBI 기법의 국내적용을 앞당길 것으로 예상된다.

참고문헌

1. API 580, "Risk-Based Inspection", American Petroleum Institute, New York(2001).
2. API 581, "Risk-Based Inspection - Basic Resource Document", American Petroleum Institute, New York(2000).
3. CRTD/ASME, "Risk-Based Inspection - Development of Guidelines", American Society of Mechanical Engineers, CRTD-20-1, New York(1991).
4. CCPS/AIChE, "Consequence Analysis of Chemical Release", American Institute of Chemical Engineers, New York(1999).
5. A. B. Spencer and G. R. Colonna, "Fire Protection Guide to Hazardous Materials", 13th ed., National Fire Protection Association, New York(2002).
6. ASME, "ASME Code for Pressure Piping, B31 an American National Standard", American Society of Mechanical Engineers, New York(2002).