

한국형 위험기반검사(K-RBI) 절차 개발 및 적용

김환주, 이현창, 장서일, 신평식¹, 임대식¹, 김태옥*
 명지대학교 화학공학과, ¹한국산업안전공단
 (kimto@mju.ac.kr*)

Development of Procedure and Application of K-RBI

H. J. Kim, H. C. Lee, S. I. Jang, P. S. Shin¹, D. S. Lim¹, T. O. Kim*
 Dept. of Chemical Engineering, Myongji University, ¹KOSHA
 (kimto@mju.ac.kr*)

서론

위험기반검사(risk based inspection, RBI) 기법은 미국기계학회의 비행기의 제트엔진과 원자력의 위험도를 정량적으로 분석하기 위해 처음으로 시도된 이래[1,2], 미국석유회(American Petroleum Institute, API)를 중심으로 석유화학공업 분야로 개선하여 발전시켰을 뿐만 아니라 가장 활발하게 연구하고 있다[3,4]. 또한 석유화학공업의 설비 안전도 점검에 맞는 이론개발과 윈도우 기반 컴퓨터 프로그램(windows based computer program)을 개발·활용하고 있으며, 이 기법은 최근 미국, 유럽 등의 선진국을 중심으로 급속히 발전하여 보급되고 있다[5]. 개발된 외국 프로그램은 Tischuk사의 T-OCA, DNV사의 ORBIT[6], TWI사의 RISKWISE, CREDO Soft사의 CREDO, APTECH Eng사의 RMDIP 등이 있다. 이와 같은 외국의 RBI 프로그램을 구입하여 사용하는 경우에는 국내 실정에 맞는 데이터베이스(DB) 구축이 어려울 뿐만 아니라 실질적인 분석효과를 기대하기가 어렵기 때문에 국내 실정에 맞는 프로그램의 개발·보급을 통하여 설비에 대한 최적 검사계획을 수립·시행함으로써 사고예방은 물론 막대한 양의 외화와 경비를 절감할 수 있다.

본 연구에서는 국내 실정에 맞는 한국형 위험기반검사 프로그램(K-RBI)을 개발하고, 이를 적용하기 위한 절차 개발 및 절차에 따른 K-RBI 프로그램의 사업장 적용을 통해 설비의 위험도를 분석하여 국내 실정에 맞는 RBI 절차 및 프로그램을 개발하고자 하였다.

본론

2-1. RBI 개요

한국형 위험기반검사에서는 Fig. 1과 같이 수행하고자 하는 대상공정의 검사 우선순위를 결정하는 단계와 대상 공정에 대한 각 설비별 위험도를 산출하여 설비의 검사 우선순위를 결정하는 단계로 구분된다. 이때, 공정의 위험도는 사고발생 가능성, 장치손상피해, 건강피해로 구분하고, 장치손상 피해와 건강피해 중 큰 등급의 피해크기를 등급으로 결정한다.

또한 장치별 검사의 우선순위를 결정하는 장치 위험도를 산출하기 위한 누출 시나리오(s)별 위험도(risk)는 사고발생 가능성과 사고피해 크기의 곱으로 식(1)과 같이 나타낸다.

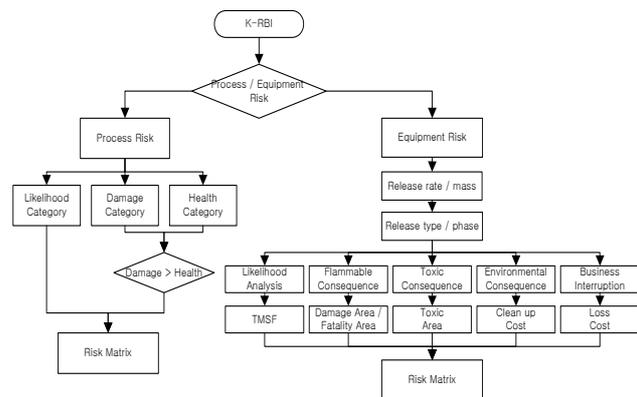


Fig. 1. Algorithm of K-RBI program.

$$(Risk)_s = (LOF)_s \times (COF)_s \tag{1}$$

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

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

2-2. 절차개발

한국형 위험기반검사 프로그램에서는 설비에 대한 위험도를 산출하기 위하여 전문가들로 구성된 팀을 구성하고 데이터를 취득하기 위해 시스템화를 통하여 구간을 정의하고 시스템화로부터 설정된 설비의 데이터를 취득하게 된다.

위험기반검사에서는 Fig. 2에서와 같은 절차를 통해 설비의 검사를 계획하고 수행할 수 있게 된다. 이때 팀은 RBI 평가 경험자 또는 교육을 받은 전문가가 참여하고 해당 공정 운전경험자, 검사·정비 경험자 등이 참여하여 조직화된 팀을 구성하여야 한다. 즉, 팀 책임자는 위험설비의 운전 또는 검사에 충분한 경험과 지식을 가져야 하며, RBI 추진 업무에 대한 총괄책임을 담당한다. 설비·설계 검사자는 설비의 상태 및 운전조건에 대한 자료를 확보하고, 재료·부식 전문가는 손상 또는 파손 메카니즘의 형태와 적용방법에 대하여 평가하는 임무를 담당한다. 그리고 공정기술자는 위험설비의 운전조건, 유체의 조성, 독성 및 인화성 등의 공정 기술정보를 제공하여야 하며, 운전·정비 전문가는 운전변수들의 규정된 운전범위 내에서 운전되고 있는지에 대한 확인을 하여야 한다. 또한 위험성 평가 전문가는 RBI 분석에 필요한 자료를 이용하여 위험성을 분석·평가하게 된다.

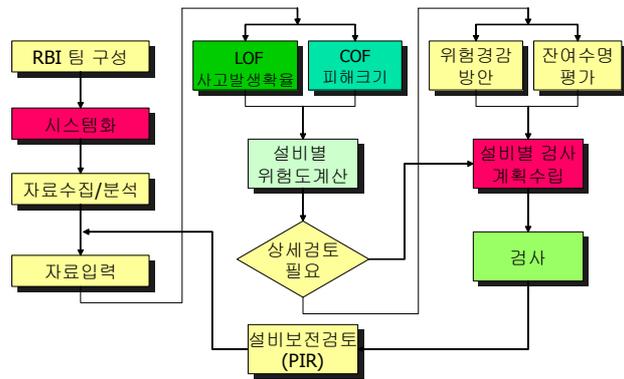


Fig. 2. Procedure of RBI.

시스템화는 대상공정에 대한 인벤토리 그룹과 유체흐름의 정의를 적용하기 위하여 수행한다. 인벤토리 그룹은 누출될 수 있는 유체량의 상한선을 정의하기 위한 것으로 P&ID 상의 모터구동밸브(MOV) 구간을 찾아 정의하거나, MOV가 없을 경우에는 제어밸브에 의해 구간을 정의한다. 이때, 인벤토리 그룹은 동일한 유체의 흐름에 대해 적용함을 원칙으로 한다. 또한 유체흐름은 동일 함유 물질, 동일 운전/온도/압력, 동일 유체상태에 대해 결정하며, 한 개 이상의 시스템이 연결된 경우에 대해서는 부분별로 구분하여야 한다.

설비에 대한 정보는 장치구분기호, 유체흐름 명, 설비번호 등을 이용하여 구분하고, 또한 반응기 칼럼, 열교환기 등의 설비에서 동일 설비 내에서 운전조건 또는 공정 유체 특성의 변화가 있을 경우 접미사로 TOP, MID, BTM, Shell, Tube 등과 같이 구분기호를 사용하여 상세히 구분하여야 한다.

2-3. K-RBI 프로그램

한국형 위험기반검사 프로그램(K-RBI)은 API-581의 절차를 바탕으로 국내 실정에 맞는 종합 알고리즘을 작성하고, Fig. 3과 같이 8개 모듈로 구성하여 실행되도록 하였다. K-RBI 프로그램의 실행절차는 Fig. 4와 같이 공정에 대한 정보를 입력 후 인벤토리 그룹을 정의하고, 유체 및 장치의 정보를 엑셀프로그램을 입력하여 인벤토리 량을 계산하여, 장치의 위험도를 분석한다.

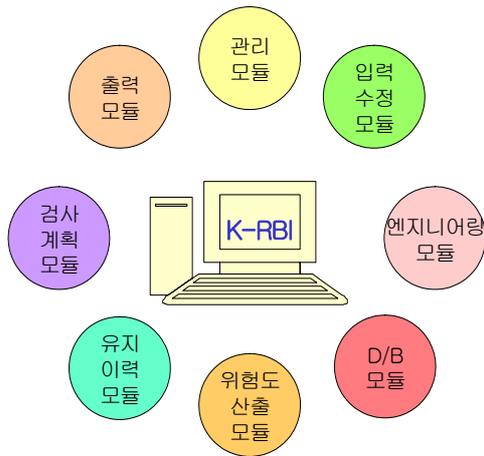


Fig. 3. Module of K-RBI program.

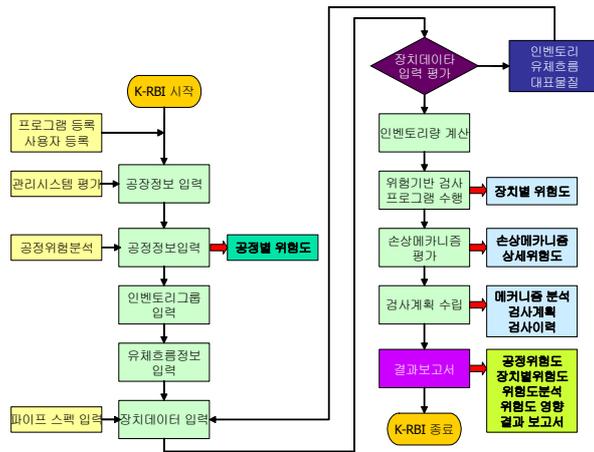


Fig. 4. Procedure of K-RBI program.

이와 같은 절차에 따라 K-RBI를 수행하는 메인화면은 Fig. 5와 같이 주메뉴, 단축아이콘, 판넬, 아웃룩메뉴, 그리고 실행창으로 구성하였다. 장치에 대한 위험도 분석은 Fig. 6 과 같이 입력된 데이터에 대해 계산을 수행한다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 K-RBI를 수행한 결과인 공정에 대한 상세 위험도와 위험도 분포를 나타낸 대표적인 결과이다.

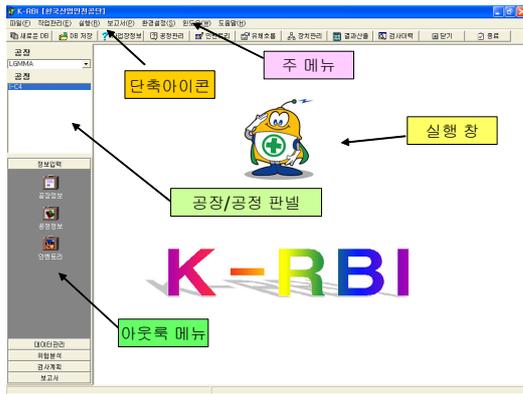


Fig. 5. Main window of K-RBI program.

The screenshot shows the 'FormEquipmentRisk2' window displaying a table of risk analysis results for various equipment.

No	장치번호	장치명	직경	두께	길이	재료	유체번호
1	P-AL-3003	Pipe-2	1.5	5.1	20	Carbon Steel	456
2	P-AL-3005-01	Pipe-4	3	5.5	50	Carbon Steel	456
3	P-AL-3005-02	Pipe-2	2	3.9	30	Carbon Steel	456
4	P-AL-3006	Pipe-2	2	3.9	40	Carbon Steel	457
5	P-AL-3007	Pipe-2	1.5	5.1	25	Carbon Steel	456
6	P-AL-3009	Pipe-16	14	9.5	10	Carbon Steel	453
7	P-AL-3010	Pipe-4	4	6	15	Carbon Steel	453
8	P-AL-3030	Pipe-10	10	9.3	10	Carbon Steel	459
9	P-AL-3031	Pipe-16	14	9.5	15	Carbon Steel	459
10	P-AL-3038	Pipe-2	1.5	5.1	15	Carbon Steel	433
11	P-AL-3101	Pipe-1	1	4.5	10	Carbon Steel	455
12	P-CWS-3016	Pipe-10	10	9.3	20	Carbon Steel	701
13	P-CWS-3017	Pipe-10	10	9.3	30	Carbon Steel	701
14	P-IB-3003	Pipe-2	6	7.1	25	Carbon Steel	421
15	P-IB-3004	Pipe-6	6	7.1	20	Carbon Steel	431

Fig. 6. Windows of risk analysis by K-RBI

The screenshot shows the '상세 결과 분석' (Detailed Result Analysis) window, which displays a detailed table of risk analysis results for each piece of equipment, including parameters like risk level, inspection frequency, and material type.

Fig. 7. Window of details risk analysis.



Fig. 8. Window of risk distribution.

2-4. 적용 사례 분석

본 연구에서 개발된 K-RBI Ver. 2.0 프로그램을 사용하여 2-2절의 절차에 따라 2개의 석유화학 공장에 대하여 적용한 결과는 Table 1과 같으며, 동일 공정에서 상용 프로그램(T-OCA)의 수행결과는 Table 2와 같다. K-RBI는 4개의 위험도 등급을, 그리고 T-OCA는 5개의 위험도 등급을 나타내기 때문에 완벽한 비교는 어려우나 A사의 고정설비를 제외한 전 장치에서 유사한 위험도 분포를 나타내었다.

Table 1. Results of risk analysis by K-RBI Ver. 2.0 program

장치 \ 위험도	A사					B사				
	계	고	중상	중	저	계	고	중상	중	저
배관	57	32	13	2	10	31	8	2	10	11
고정설비	33	-	-	27	6	28	-	1	26	1
회전설비	3	-	3	-	-	3	-	-	-	3

Table 2. Results of risk analysis by T-OCA program

장치 \ 위험도	A사						B사					
	계	1	2	3	4	5	계	1	2	3	4	5
배관	57	11	16	13	15	2	31	-	6	24	1	-
고정설비	33	5	14	9	5	-	28	-	3	7	18	-
회전설비	3	-	2	1			3	-	1	1	1	-

결론

국내 실정에 맞는 한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 개발하고, 이를 적용하기 위한 절차를 개발하였으며, 수행절차를 이용하여 두 개의 사업장에 대해 개발된 K-RBI 프로그램을 적용하여 수행한 결과, 상용 프로그램에서와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 개발된 K-RBI 프로그램을 국내 사업장에 보급하여 적용함으로써 막대한 양의 외화와 경비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 사업장에서는 프로그램을 바탕으로 대상설비의 위험도에 따라 검사항목에 대한 검사방법과 검사기법을 적용함으로써 설비의 신뢰도를 극대화 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. ASME, "Risk-Based Testing : Development of Guidelines", Center for Research and Technology Development(CRTD), **40**(1), American Society of Mechanical Engineers (2000).
2. ASME, "Risk-Based Inspection : Development of Guidelines", CRTD, **20**(1), American Society of Mechanical Engineers(1994).
3. API 580, "Risk-Based Inspection", American Petroleum Institute, New York(2001).
4. API, "RBI Basic Resource Document : API 581", American Petroleum Institute (2000).
5. KAERI, "The 7th Korea-Japan PSA Workshop", Korea Atomic Energy Research Institute, May(2002).
6. DNV, "User Manual for Process Hazard Analysis Software Tools(PHAST)", Ver 4.1, DNV Technical Manual(1993).