

API-RBI BRD에 따른 RBI 소프트웨어의 개발

송정수 · 김주호* · 이승재* · 최송천** · 김지윤** · 윤기봉

중앙대학교 기계공학부 · *(주)프렌티스 · **한국가스안전공사 가스안전시험연구원

1. 서 론

RBI(Risk-Based Inspection)는 각각의 설비별로 위험등급 또는 위험도를 산정하고 이에 따라 검사의 우선 순위, 방법, 주기 및 일정계획 등을 수립하여 기술적인 근거에 의해 종합적이고 체계적인 검사를 수행하는 것이다. 이와 같이 RBI는 위험도를 정성적/정량적으로 평가하여 위험의 대부분을 내포하고 있는 30% 내외의 소수의 설비를 찾아내어 이에 대해 최적의 방법으로 인적, 물적 자원을 집중적으로 투입함으로써 안전성 확보와 함께 경제성을 추구하는 효율적인 기법이라 할 수 있다. RBI기법은 정유, 석유화학, 화력, 원자력 발전설비 등 광범위한 분야에서 응용되고 있다. API(American Petroleum Institute)는 22개의 업체(Amoco, ARCO, Ashland, BP, Chevron, CITGO, Conoco, Dow Chemical, DNO Heather, DSM Services, Equistar Exxon, Fina, Koch, Marathon, Mobil, Petro-Canada, Philips, Saudi Aramco, Shell, Sun, Texaco 그리고 UNOCAL)와 공동 컨소시엄을 구성하여 5년 과제에 많은 연구비를 들여 정유·석유화학 설비의 안전도 점검에 맞는 API-RBI BRD를 개발하여 활용하고 있다.[1]

본 연구는 석유화학/정유설비 등의 안전하고 효율적인 사용을 위해 경제적인 진단계획을 수립하기 위한 도구로서 API-RBI BRD에 근거하여 RBI 소프트웨어의 종합 알고리즘을 구성하고 RBI 소프트웨어를 개발하는 것이며, 이를 통해 개발된 RBI 기법을 사용하면 최소의 비용으로 최대의 안전성을 확보할 수 있다. 우선 RBI 소프트웨어 개발을 위한 기초 알고리즘과 장치 및 공정관련 D/B를 구축하였고 고장빈도 분석을 실시하였으며, 대상설비의 위험도 평가 및 검사주기 산정을 수행할 수 있는 종합 알고리즘과 소프트웨어를 개발하였다.

2. 이 론

본 RBI 알고리즘은 API-RBI BRD의 부록에서 제시되고 있는 평가 순서도에 근거하여 작성하였고, 평가 순서도에서 명확히 제시되지 않은 부분은 코드 상의 텍스트 내용 및 참고문헌에 근거하여 작성하였다. 알고리즘은 다음과 같이 크게 세가지 모듈로 나눌 수 있다.

- ▶ 정성적 RBI 알고리즘
- ▶ 준정량적 RBI 알고리즘

▶ 정량적 RBI 알고리즘

또한 위험도 계산수행을 지원하고 계산결과를 적용하기 위해 구성한 알고리즘은 다음과 같다.

- ▶ 플랜트 설비 데이터를 관리하는 plant data management 알고리즘
- ▶ Group inventory 계산 알고리즘
- ▶ Inspection effectiveness/Inspection planning 알고리즘

주요 알고리즘에 포함하는 세부적인 계산 알고리즘에는 누출지속시간, 누출속도, 검사효율, 부식속도, 손상기구, 검사계획, 파손결과 계산, 위험도 계산 및 재정적인 위험도 계산 알고리즘 등이 있다. Fig. 1은 API-RBI BRD에 근거한 RBI 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타낸 것이다.

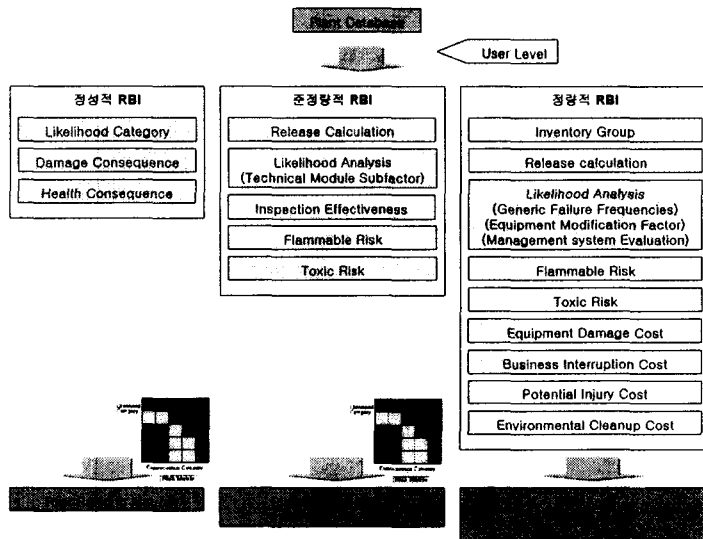


Fig. 1 Flowchart of RBI based on API-RBI BRD

2-1. 정성적 RBI

정성적 RBI는 likelihood category, damage consequence category 및 health consequence category를 계산하여 5×5 위험도 행렬로 표시한다. Likelihood category는 equipment factor, damage factor, inspection factor, condition factor, process factor 및 mechanical design factor로 구성되며 A, B, C, D, E 등급으로 표시한다. Damage consequence category는 chemical factor, quantity factor, state factor, auto-ignition factor, pressure factor, credit factor 및 damage potential factor로 그리고 health consequence category는 toxic quantity factor, dispersibility factor, credit factor 및 population factor로 구성되며 각각 1, 2, 3, 4, 5 등급으로 표시한다. 이 계산 결과는

Fig. 1의 위험도 행렬에 표시하게 되며, 짙은 우측 상단 쪽에 표시된 설비일수록 위험도가 높다는 것을 의미한다. 효율적인 RBI 수행을 원한다면 정성적 RBI에서 위험도가 낮게 나타난 설비에 대해서는 더 이상의 계산을 수행하지 않고, 위험도가 높게 나타난 설비에 대해서만 준정량적 RBI 및 정량적 RBI를 수행하게 된다.

2-2. 정량적 RBI

정량적 RBI에서는 equipment modification factor의 technical module factor, universal subfactor, mechanical subfactor 및 process subfactor를 고려하고, management systems evaluation sheet의 101가지 질문을 이용하여 0.1에서 10까지의 management systems evaluation factor를 반영하여 generic equipment modification frequency를 Fig. 2와 같이 보정한다.

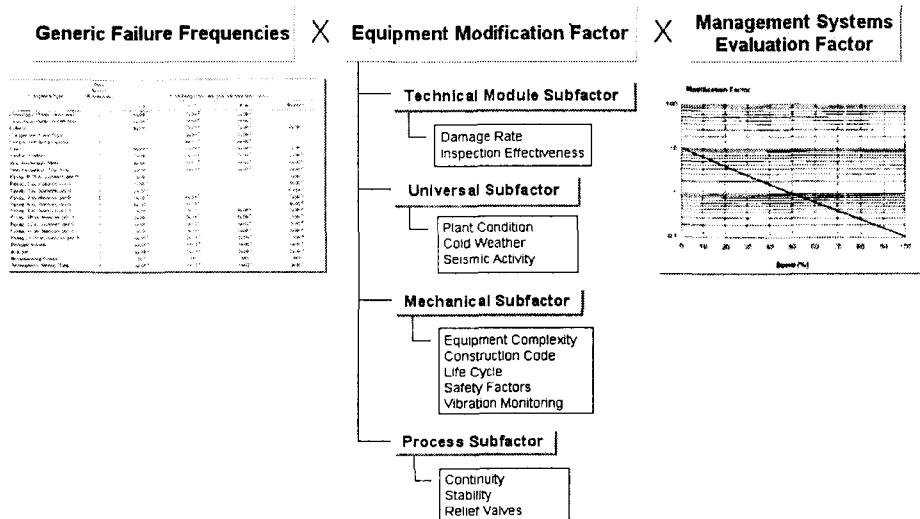


Fig. 2 Adjustment of generic equipment failure frequency

정량적 RBI에서 설비의 실제 inventory를 입력할 때 그 설비뿐만 아니라 누출사고 발생 시 그 설비와 연결된 다른 설비의 누출 가능한 inventory까지 고려하여 비교적 정확한 값을 입력하게 되어 있다. Consequence 평가에서는 flammable/toxic consequence area 뿐만 아니라 equipment damage cost, business interruption cost, potential injury/fatality cost 및 environmental cleanup cost 등을 포함하는 financial risk를 고려한다. 이 접근은 정성적과 준정량적 RBI에서 단순히 설비의 위험도 순위만을 결정하는 것이 아니라 실제 누출사고 발생시 피해 면적과 피해 금액으로 산정할 수 있어 용이하다. Fig. 3는 정량적 RBI의 총괄 순서도이다.

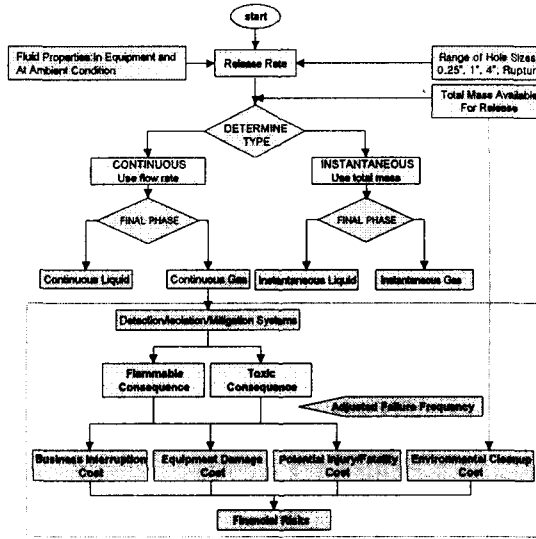


Fig. 3 Flowchart of quantitative RBI

2-3. 준정량적 RBI

준정량적 RBI 절차는 정량적 RBI 절차와 거의 유사하지만 다른 점은 inventory에 있어 정확한 데이터를 요구하지 않으며, flammable consequence area와 toxic consequence area만을 고려하여 정량적 RBI와 같은 방법으로 계산하는 것이다. 또한 financial risk는 고려하지 않는다. 계산된 각각의 consequence area에 대해 generic equipment failure frequency를 반영하고 다음의 식을 이용하여 likelihood weighted average area를 계산하고, 계산된 값으로부터 consequence category를 결정한다.

$$Likelihood\ Weighted\ Average\ Area = \frac{\sum_{n=1}^{n=4} Area_n \times Frequency_n}{\sum_{n=1}^{n=4} Frequency_n}$$

Likelihood analysis 수행에 있어서는 필요한 여러 subfactor들 중에서 상대적으로 작은 값을 갖는 subfactor들은 무시하고 technical module subfactor만을 고려하여 likelihood category를 결정한다.

3. 개발한 RBI 소프트웨어

현재 구성된 종합 알고리즘을 바탕으로 MS Visual C++ 6.0, MS Visual Basic 6.0 그리고 MS Access를 사용하여 API-RBI BRD에 근거한 RBI 소프트웨어를 개발하였다. Fig. 4은 RBI 소프트웨어 기본 화면 구조이다. 이 화면에서 설비 데이터, likelihood

데이터, consequence 데이터 및 financial risk 결정을 위한 데이터를 입력하게 되며, 탭 컨트롤을 전환시켜 가면서 세부적인 데이터를 입력·선택하게 된다.

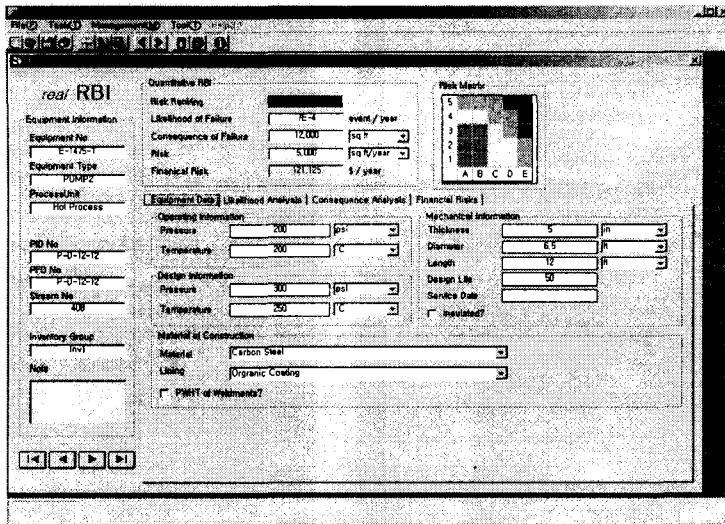


Fig. 4 Main window of the RBI software

개발한 RBI 소프트웨어는 사용자 입력 데이터와 위험도만을 소프트웨어 상에 표현하는 것뿐만 아니라 중간 계산과정에서 생성되는 주요 변수를 세부창으로 나타냄으로써 사용자가 위험도 분석과정을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. Fig. 4는 consequence 계산에서 생성되는 주요 변수를 나타내는 창이다. 이 창을 통해 각각의 파손 시나리오에 대한 결과값들을 확인할 수 있다. Fig 5는 inspection planning 창이며, 위험도 계산결과에 근거하여 검사방법 및 검사주기에 대한 권고사항을 나타내 준다.

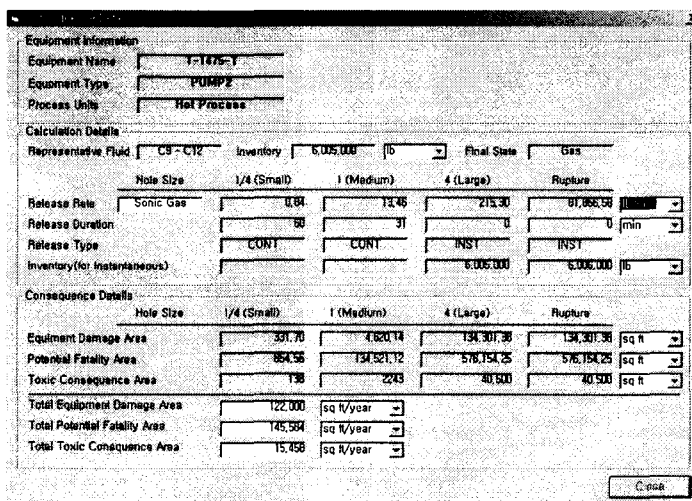


Fig. 5 Details of consequence calculations


Equipment No.	1-1236				
Equipment Type	TANK-12				
Process Unit	VNCC3				
Service Start Date	12-19-1997				
Damage Mechanism	<input type="checkbox"/> Thinning	<input checked="" type="checkbox"/> SCC	<input type="checkbox"/> HTHA	<input type="checkbox"/> Furnace Tube	<input type="checkbox"/> External Damage
General Inspection Planning			Inspection History		
TMSF	5,000		Number of Inspections	1	
Risk	3.128	50 R/year	Inspection Effectiveness	Highly Effective	
Financial Risk	20,342	3/year	Last Inspection Date	12-01-1998	
Action/Inspection Method			Highly Effective Inspection		
<input type="checkbox"/> Invasive Inspection Wet fluorescent Magnetic particle or dye penetrant testing of 25-100% of weld/cold bends; or dye penetrant testing of 25-100% of welds/cold bends.			<input checked="" type="checkbox"/> Noninvasive Inspection Shear wave ultrasonic testing of 25-100% of welds/cold bends; or Radiographic testing of 50-100% of welds/cold bends.		
Frequency/Inspection Time			Within 3 years of Date in Service		
Warning: The equipment is at or near the end of its life.			Notes: VNCC Sample Test		

Fig. 6 Inspection planning

4. 결론

본 연구에서는 RBI 소프트웨어 개발을 위해 API-RBI BRD의 권고내용에 근거하여 정성적, 준정량적 및 정량적 RBI 종합 알고리즘을 구성하였다. 개발된 위험도 평가 알고리즘을 바탕으로 상용 소프트웨어들을 이용하여 위험도 평가 프로그램을 개발하였다. 이 RBI 소프트웨어를 여천 NCC 3호기에 적용하여 RBI를 수행할 예정이다. 또한, 현재 ASME(American Society of Mechanical Engineers)에서 API-RBI BRD를 포함하는 PCS (Post Construction Standards)를 개발하고 있으며 2002년 초에 코드가 완성되면 이 코드 내용을 반영하여 정유·석유화학 뿐만 아니라 발전·가스 설비 등에도 적용할 수 있는 광범위한 종합 위험도 평가 프로그램을 개발할 예정이다.

참고 문헌

- [1] API (American Petroleum Institute), 2000, Risk-Based Inspection - Base Resource Document 1st edition
- [2] ASME (American Society of Mechanical Engineers), 1992, Risk-Based Inspection -Development of Guidelines
- [3] Greg Alvarado, Lynne Kaley and Ricardo R. Valbuena, 1999, "Risk Based Inspection Demonstration Value", CORROSION 99, NACE International, Paper No. 388
- [4] John T. Reynolds, 2000, "Risk-Based Inspection - Where are we today?", CORROSION 2000, NACE International, Paper No. 00690