

API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현 (III) - 정량적 접근법 -

송정수 · 심상훈 · 최송천* · 윤기봉[†]

중앙대학교 공과대학 기계공학부 · *한국가스안전공사 가스안전시험연구원
(2002. 3. 15. 접수 / 2002. 11. 12. 채택)

Development of RBI Procedures and Implementation of a Software Based on API Code (III) - Quantitative Approach

Jung-Soo Song · Sang-Hoon Shim · Song-Chun Choi* · Kee-Bong Yoon[†]

Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University
*Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation
(Received March 15, 2002 / Accepted November 12, 2002)

Abstract : During the last decade, effort has been made for reducing maintenance cost for aged equipments and ensuring safety, efficiency and profitability of petrochemical and refinery plants. Hence, it was required to develop advanced methods which meet this need. RBI(Risk Based Inspection) methodology is one of the most promising technology satisfying the requirements in the field of integrity management. In this study, a quantitative assessment algorithm for RBI based on the API 581 code was reconstructed for developing an RBI software. The user-friendly *real*RBI software is developed with a module for evaluating quantitative risk and financial risk using the potential consequence and the likelihood. Also, inspection planning module for inspection time and inspection method are included in it.

Key Words : RBI, risk, likelihood, frequency, inventory, inventory group, MOV, financial risk, TMSF, tank bottom

1. 서 론

산업설비들의 노후화된 장치들을 유지관리 및 보존상태, 경제성 그리고 안전성에 따라 가장 효과적이고 적절한 시기에 검사하고 보수해야 될 필요가 있다. 이와 같은 가장 적절한 조건의 결정은 안전성과 경제성을 동시에 고려해야 하는 이차원적인 문제이므로, 장치의 파손가능성(likelihood of failure)을 고려한 장치류의 상태, 사고 발생시 인명피해, 경제적 손실을 고려한 사고결과(consequence of failure)를 동시에 고려한 기법의 개발이 요구되어 왔다. 이러한 내용을 기초로 하여 RBI(Risk-Based Inspection: 위험기반검사) 기술이 개발되어져 왔다.

API(American Petroleum Institute)에서 개발한 API RBI는 압력장치류의 기계적 안전성 보전으로 loss

of containment를 최소화하는데 목표를 두고 API 581 "Base Resource Document - RBI"를 작성하여 RBI 진행절차와 이론적 배경을 단계별로 설명하고 있다¹⁾.

이전 연구에서 정성적(qualitative) RBI와 준정량적(semi-quantitative) RBI 절차에 대해 보고하였으나^{2,3)} 본 연구에서는 매우 상세한 해석이 요구되는 API 581의 정량적 RBI 절차에 근거하여 파손빈도, 파손 피해, 재정적 피해 등에 대한 분석을 수행하였고 이에 따라 RBI 소프트웨어의 정량적 종합 알고리즘을 구성하였다. 본 연구에 제시된 각 분석 절차에 준하여 정량적 RBI가 가능한 평가용 소프트웨어 모듈을 개발·구현하였으며 이를 본 논문에 설명하였다.

2. 정량적 RBI 절차

정량적 RBI는 준정량적 RBI와 마찬가지로 일부 공정이 아닌 전체 공정 및 설비 데이터를 가지고 해석해야 된다. 어떠한 누출이 발생하고, 그 누출이

[†]To whom correspondence should be addressed.
kbyoon@cau.ac.kr

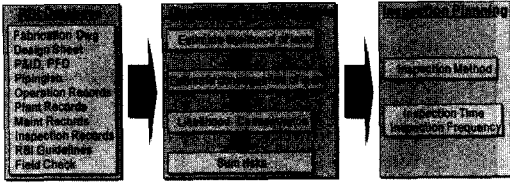


Fig. 1. Overview of general quantitative RBI approach

어떠한 상황으로 진전되는지를 결정하기 위해 여러 가지 지정된 누출시나리오를 고려하며 각각의 시나리오에 대해서 위험도를 결정한다³⁾. 그리고 결정된 위험도의 합이 그 장치의 최종 위험도가 된다. Fig. 1은 정량적 RBI 접근방법을 도식적으로 나타낸 것으로 데이터베이스에 포함되는 내용, 위험도 계산 절차 및 검사계획 수립절차가 표시되어 있다⁴⁾.

3. 정량적 RBI의 파손빈도 분석절차

파손빈도는 각각의 장치유형의 기본 파손빈도 데이터를 알아내서 이를 적절히 수정하여 결정한다. 기본 파손빈도는 장치 보정인자와 관리시스템 평가인자의 두 가지를 이용하여 식 (1)에 보인 바와 같이 보정한다.

$$(Frequency)_{adjusted} = (Frequency)_{generic} \times F_E \times F_M \quad (1)$$

여기에서 $(Frequency)_{generic}$ 은 기본 파손빈도, F_E 는 장치 보정인자, F_M 은 관리시스템 평가인자를 나타낸다⁵⁾.

3.1. 기본 파손빈도

실제 특정 장치에서 파손이 발생하지 않더라도 이는 파손이 발생할 만큼 충분한 가동이 이루어지지 않았기 때문이므로, 이때 파손빈도를 0으로 볼 수 없다. Table 1에 있는 여러 장치들의 기본 파손빈도는 과거의 여러 플랜트들의 파손기록에 근거하여 작성되었다. 즉, 이 기본 파손빈도는 일반적인 정유·석유화학플랜트 장치의 파손빈도만을 반영하므로 특정 플랜트의 설비나 장치의 실제 파손빈도는 이를 적절히 수정하여 한다⁴⁾.

3.2. 장치 보정인자

장치 보정인자는 각각의 설비나 장치가 운전되는 특정환경에 근거하여 적용된다. 이 인자는 다음의 4가지의 하부 인자로 구성되어 있다. 그리고 하부 요인들은 Fig. 2와 같이 세부 항목들로부터 결정된다.

- Technical module subfactor
- Universal subfactor
- Mechanical subfactor
- Process subfactor

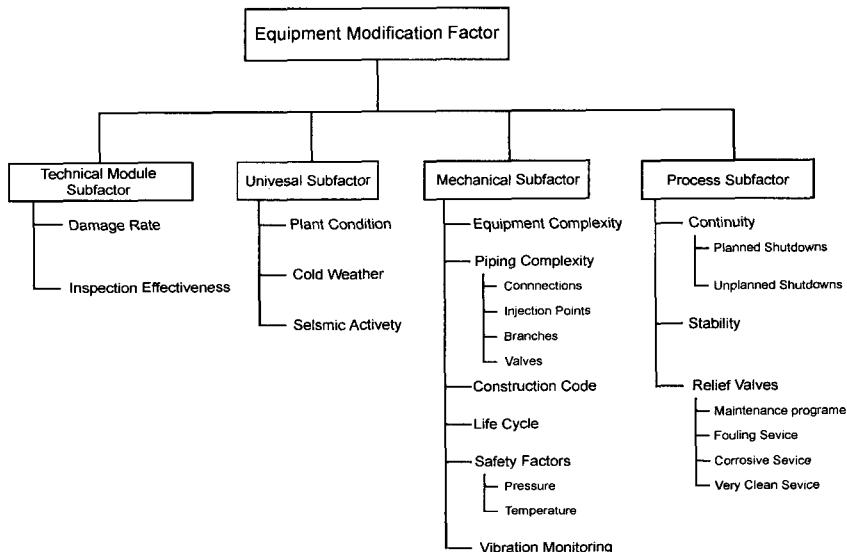


Fig. 2. Equipment modification factor & subfactor affecting it⁵⁾

Table 1. Suggested generic equipment failure frequencies⁵⁾

Equipment type	Leak frequency (per year)			Rupture
	1/4"	1"	4"	
Centrifugal Pump, single seal	6×10^{-2}	5×10^{-4}	1×10^{-4}	
Centrifugal Pump, double seal	6×10^{-3}	5×10^{-4}	1×10^{-4}	
Column	8×10^{-5}	2×10^{-4}	2×10^{-5}	6×10^{-6}
Compressor, Centrifugal		1×10^{-3}	1×10^{-4}	
Compressor, Reciprocating		6×10^{-3}	6×10^{-4}	
Filter	9×10^{-4}	1×10^{-4}	5×10^{-5}	1×10^{-5}
Fin/Fan Coolers	2×10^{-3}	3×10^{-4}	5×10^{-8}	2×10^{-8}
Heat Exchanger, Shell	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Heat Exchanger, Tube Side	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Piping, 0.75 in. dia., per ft	1×10^{-5}			3×10^{-7}
Piping, 1 in. dia., per ft	5×10^{-6}			5×10^{-7}
Piping, 2 in. dia., per ft	3×10^{-6}			6×10^{-7}
Piping, 4 in. dia., per ft	9×10^{-7}	6×10^{-7}		7×10^{-8}
Piping, 6 in. dia., per ft	4×10^{-7}	4×10^{-7}		8×10^{-8}
Piping, 8 in. dia., per ft	3×10^{-7}	3×10^{-7}	8×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 10 in. dia., per ft	2×10^{-7}	3×10^{-7}	8×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 12 in. dia., per ft	1×10^{-7}	3×10^{-7}	3×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, 16 in. dia., per ft	1×10^{-7}	2×10^{-7}	2×10^{-8}	2×10^{-8}
Piping, >16 in. dia., per ft	6×10^{-8}	2×10^{-7}	2×10^{-8}	1×10^{-8}
Pressure Vessels	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	6×10^{-6}
Reactor	1×10^{-4}	3×10^{-4}	3×10^{-5}	2×10^{-5}
Reciprocating Pumps	7×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
Atmospheric Storage Tank	4×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	2×10^{-5}

의 사항에 대해서 대상 플랜트 또는 대상 공정 전체에 적용한다.

- Maintenance procedures and training
- Process safety information
- Management of change procedures and practices
- Operating procedures
- Process hazards analysis

이 관리시스템의 영향평가는 1000점(100%)을 만점으로 표현하며 이 값을 인자로 변환하기 위해서는 Fig. 3을 이용한다. 인자는 최소 0.1점에서 최대 10점을 가지며 이것은 RBI 대상 플랜트나 공정 안에 있는 장치들의 상대적인 위험도를 바꾸는 것이 아니라 전체 장치들의 절대적인 위험도를 높이거나 낮추는데 사용된다⁴⁾.

4. 정량적 RBI의 파손피해 분석절차

정량적 RBI에서는 파손피해 결정은 아래와 같이 9단계 절차를 수행하여 평가된다.

- 누출시나리오를 결정한다.
- 누출 가능량을 결정한다.
- 누출률을 결정한다.
- 누출유형을 결정한다.
- 대기로 누출될 때 유체의 상태를 결정한다.
- 누출 후 감시·차단 시스템 효과를 결정한다.
- 파손에 의한 피해면적을 평가한다.
- 재정적 피해를 결정한다.
- 대표물질을 결정한다.

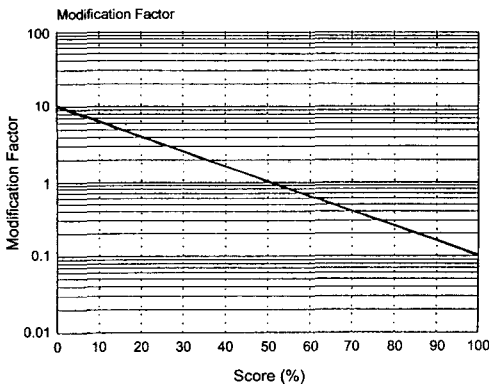


Fig. 3. Management systems evaluation score vs. management systems modification factor⁵⁾

3.3. 관리시스템 평가인자

효과적인 플랜트 관리시스템은 위험물질의 누출을 예방하고 설비와 장치의 건전성을 유지하는 데에 직접적으로 또는 간접적으로 영향을 준다. 정량적 RBI 절차에서는, 대상 플랜트의 공정안전 관리시스템의 효율성이 기본 파손빈도에 영향을 준다는 것을 고려해 관리시스템 평가인자를 반영하고 있다. 이 인자는 개별 장치에 적용하는 것이 아니라 다음

정량적 RBI의 파손피해 분석절차는 이전 연구에서 보고한 준정량적 RBI 절차와 거의 유사하지만 다른 부분은 다음과 같다. 첫째, 준정량적 RBI와 달리 훨씬 정확한 누출 가능량 사용을 권고하고 있다. 둘째, 누출유형을 보다 세부적인 단계를 거쳐 결정한다. 셋째, 누출사고로 인해 발생하는 화재 및 폭발 피해와 독성 피해를 피해면적 뿐만 아니라 피해손실액으로 산출하는 재정적 피해절차를 포함한다^{6,7)}. 따라서 본 본문에서는 준정량적 RBI 절차와 다른 점에 대해서만 기술하였다. Fig. 4은 위 평가 단계를 도식으로 표현한 것이다.

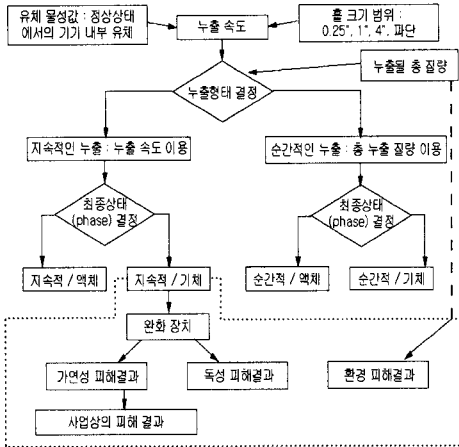


Fig. 4. Flowchart of quantitative consequence analysis

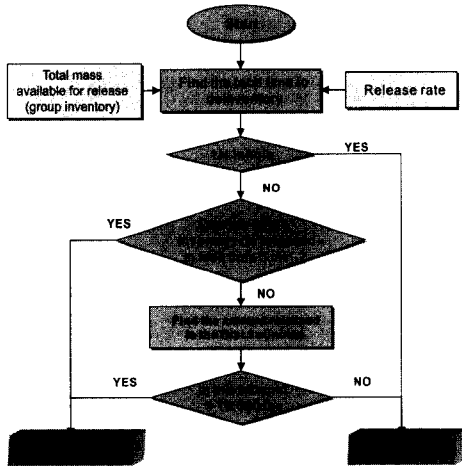


Fig. 5. Process to determine the type of release

4.1. 누출 가능량 결정

누출사고 발생 시 누출 가능량은 파손피해 결정에 있어 주요 변수가 된다. 따라서 정량적 RBI에서는 보다 정확한 누출 가능량을 사용한다. 여기서 inventory group이라는 개념을 도입한다. Inventory group은 누출사고 발생 시 누출이 지속되지 않도록 플랜트의 다른 영역으로부터 고립되는 설비나 장치의 그룹으로 정의하고, 잠재적으로 그 inventory group안에 있는 모든 설비의 inventory(저장량)가 누출될 수 있다고 가정한다. 누출사고 발생 시 압력강하가 발생하는데 이 압력강하를 감지하여 자동으로 닫힘 상태가 되는 MOV (Motor-operated valves)가 플랜트 곳곳에 위치에 있다. 이 MOV를 이용하여 inventory group의 경계를 결정할 수 있다.⁸⁾

4.2. 누출유형 결정

파손피해는 누출유형에 따라 상당히 많은 차이를 보이고 있다. 정량적 RBI 접근방식은 준정량적 RBI 방식과 같이 모든 누출을 일시적인(instantaneous) 유형과 지속적인(continuous) 유형으로 나누어 고려하지만 정량적 RBI에서 누출유형의 결정은 Fig. 5에 보인 바와 같은 절차를 이용하여 가장 세부적으로 일시적인 유형과 지속적인 유형을 판단하여 결정한다.

4.3. 재정적 피해 분석

정량적 RBI에서 누출사고로 인해 발생하는 화재 및 폭발 피해와 독성 피해를 피해면적 뿐만 아니라 피해 손실액으로도 산출이 가능하다. 다음은 재정적 피해에서 고려되는 항목들이다.

- 생산차질에 따른 손실비용
- 장치 및 설비의 손상에 따른 보수·교체비용
- 사망·부상에 따른 보상비용
- 환경 오염에 따른 정화비용

4.3.1. 생산차질에 따른 손실비용

누출사고에 의해 생산차질에 따른 손실비용은 화재 및 폭발 피해의 경우에는 사고장치 뿐만 아니라 주변 설비에도 손상을 입힌다. 따라서 주변 설비의 보수 및 교체기간을 고려해 생산 차질에 의한 손실액을 산정한다. 반면에 화재 및 폭발이 발생하지 않는 순수 독성 피해의 경우에는 사고장치 자체의 보수 및 교체기간만을 고려해서 생산 차질에 의한 손실액을 산정한다.

4.3.2. 장치 및 설비의 손상에 따른 보수·교체 비용

장치 및 설비의 손상에 의한 보수·교체 비용도 생산 차질에 따른 손실비용과 마찬가지로 화재 및 폭발 피해의 경우와 화재 및 폭발이 발생하지 않는 순수 독성 피해의 경우에 따라 각각 앞 절과 같은 방법으로 비용을 산정한다.

4.3.3. 사망·부상에 따른 보상비용

화재 및 폭발 피해의 경우와 독성 피해의 경우의 피해면적에서 인명에 미치는 큰 피해면적을 선택하여 그 피해면적에 단위 면적 당 작업자를 곱함으로써 사고 발생시 사망·부상자를 계산할 수 있다. 이것에 1인당 보상비용을 곱하여 사망·부상에 따른 보상비용을 산정 할 수 있다.

4.3.4. 환경 오염에 따른 정화비용

환경 오염에 따른 정화 비용산정에 있어서는 tank bottom과 tank bottom이 아닌 장치에 대해 다르게 고려한다. Tank bottom인 경우에는 지면과 접해 있기 때문에 large, rupture 시나리오를 고려하지 않고 지면에 따른 누출률과 누출을 감지하는 시스템을 고려해서 주변 환경으로 누출되는 오염 유체의 부피를 결정할 수 있다. 이 부피에 단위 부피 당 정화비용을 곱함으로써 사고 발생 시 정화비용을 산정할 수 있다. 반면에 tank bottom이 아닌 장치인 경우에는 초기 상태가 액체인 경우, 운전온도가 자연 점화 온도보다 27℃이상 크지 않은 경우 및 비등온도가 93℃이상인 경우만을 고려하며 누출유형에 따라 장치에서 누출되는 총 부피를 결정한다. 여기에서 누출유체가 고여있는 면적(diked area)과 24시간이내 자연증발량을 고려해서 환경에 잔류하는 부피를 결정한다. 이 부피에 단위 부피 당 정화비용을 곱함으로써 사고 발생 시 정화비용을 산정 할 수 있다.

5. 정량적 RBI의 위험도 결정

위험도는 파손피해(피해면적 또는 피해 손실액)와 파손빈도로 결정되며, 위험도에 대한 정량적 RBI에서의 위험도의 정의는 식 (2)과 같다.

$$(Risk)_s = C_s \times F_s \quad (2)$$

여기서, s 는 누출시나리오, $(Risk)_s$ 는 한 장치의 한 누출시나리오에 해당하는 위험도이며, C_s 는 파손피해 (피해면적 또는 피해 손실액), F_s 는 파손빈도 (일년 당 파손되는 횟수)를 나타낸다.

각각의 장치에서 최종 위험도는 장치의 모든 누출시나리오에 대해 식 (2)으로 구한 위험도의 합계이다. 따라서 장치의 최종 위험도 $(Risk)_{equipment}$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$(Risk)_{equipment} = \sum_s (Risk)_s \quad (3)$$

6. 정량적 RBI 소프트웨어의 개발

본 연구에서 개발한 *realRBI*(risk evaluation and assessment of life software for RBI) 소프트웨어는 API 581의 부록에 제시되고 있는 평가 순서도를 기

본으로 알고리즘을 개발하였고, 평가 순서도에 명확히 제시되지 않은 부분은 API 581 코드상의 본문 내용 및 참고문헌에 근거하여 RBI 알고리즘을 개발하였다. 구성된 알고리즘을 바탕으로 MS Visual C++ 과 MS Visual Basic 언어를 사용하고 데이터베이스로는 MS Access를 사용하여 소프트웨어를 개발하였다. 이전 연구에서 정성적 RBI와 준정량적 RBI 절차와 소프트웨어에 대해 보고하였고^{2,3)}, 본 연구에서는 정량적 RBI 절차와 소프트웨어 부분만을 보고한다.

6.1. Plant ID

Fig. 6는 *realRBI* 소프트웨어의 Plant ID창으로 이곳을 통해서 플랜트 정보와 파손빈도 계산에서 기본 파손빈도를 보정하는 사용되는 장치 보정인자의 universal subfactor와 기후 정보를 입력할 수 있다. 또, 이 부분을 통해서 위험도 결정에 필요한 파손피해 유형을 사용자가 선택할 수 있다.

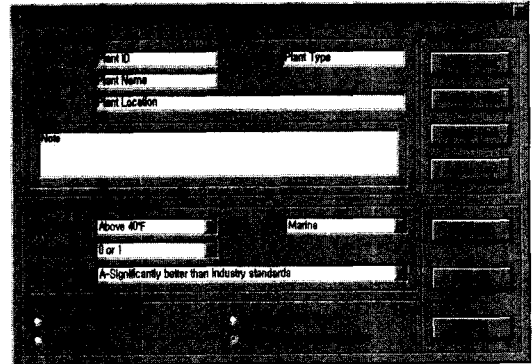


Fig. 6. Plant ID

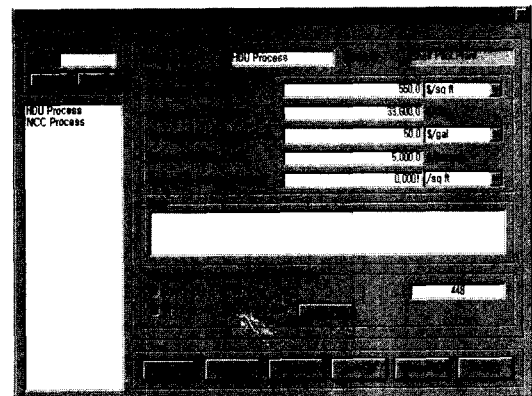


Fig. 7. Process unit manager

6.2. Process unit manager

Process unit manager에서는 정량적 RBI의 재정적 위험 산정에 사용되는 단위면적 당 설비의 비용, 1일당 생산차질에 의한 손실, 환경으로 누출된 물질의 단위 부피당 정화비용, 사망·부상에 따른 1인당 보상비용 및 단위면적 당 작업자 수를 Fig. 7과 같이 입력하게 되어 있다. 그리고 Fig. 7의 하단을 통해서 관리시스템 평가인자값을 반영한다.

6.3. Equipment manager

Equipment manager에서는 장치번호, 장치유형, 해당 공정, P&ID, PFD, stream no를 Fig. 8과 같이 선택하여 입력할 수 있고, 장치가 속해 있는 inventory group을 선택·결정할 수 있다.

6.4. Inventory group manager

Inventory group은 공정의 하위 집단이고 하나의 공정은 여러 개의 inventory group을 포함할 수 있다. Fig. 9는 inventory group manager창으로 이곳을 통해서 group에 포함되어 있는 모든 장치의 길이, 직경

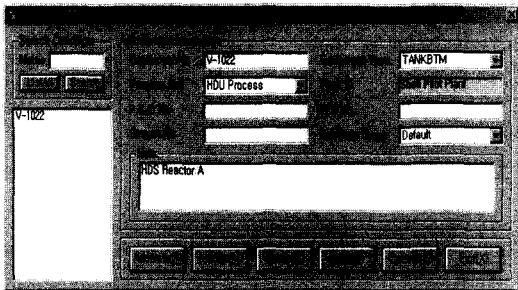


Fig. 8. Equipment manager

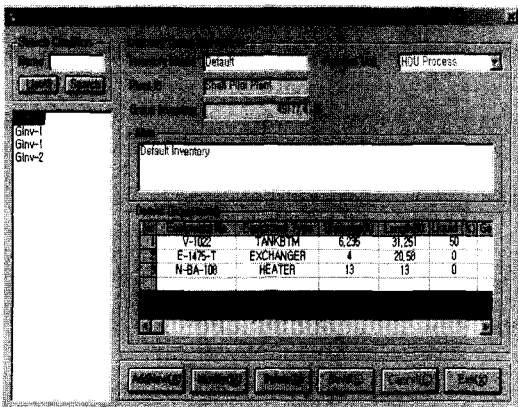


Fig. 9. Inventory group manager

등 데이터와 inventory계산에 필요한 액체%, 기체밀도, 개별 장치의 inventory 등이 표현된다

6.5. 설비 데이터

Fig. 10는 정량적 RBI의 설비 데이터 입력 창이고 이 부분을 통해서 장치의 운전 압력/온도, 설계 압력/온도, 장치의 두께, 직경, 길이, 재질, 가동시작 날짜, 설계 수명, 라이닝 등을 입력한다. Fig. 10의 상단에 있는 부분은 이미 평가된 위험도, 파손빈도, 파손피해, 재정적 위험 및 위험도 등급 등이 시각적으로 표현된다.

6.6. 파손빈도 분석

Fig. 11은 정량적 RBI의 파손빈도 분석 창이고 이 부분을 통해서 장치 보정인자의 mechanical subfactor, process subfactor, technical module subfactor (이하, TMSF) 등을 결정할 수 있다. Fig. 11의 우측을 통해서 장치의 검사기록 창 및 두께감육, 응력부식균열,

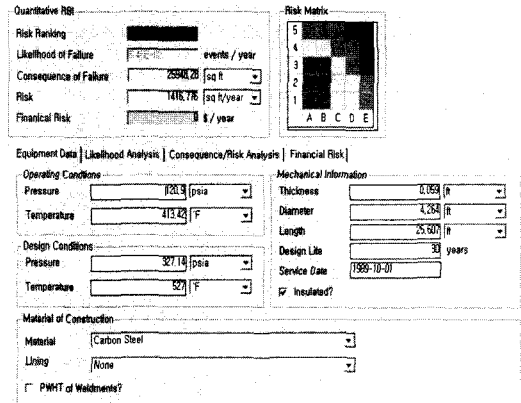


Fig. 10. Equipment data for quantitative RBI

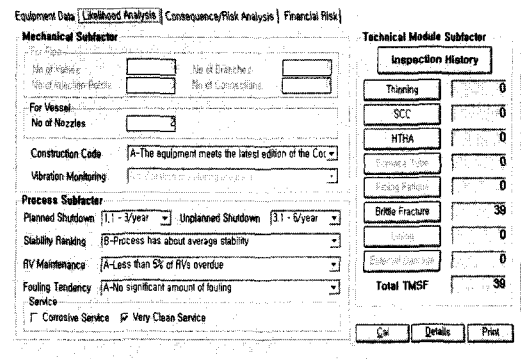


Fig. 11. Likelihood analysis for quantitative RBI

고온수소손상, 크리프, 피로, 취성파괴, 외부손상 및 라이닝 등 장치의 손상기구와 그 정도를 평가하는 창으로 들어간다. 평가된 각 손상기구의 TMSF가 화면상에 표시되며 합이 제일 하단의 total TMSF부분에 표시된다.

6.7. 파손피해/위험도 분석

Fig. 12은 정량적 RBI의 파손피해/위험도 분석 창이고 이 부분을 통해서 장치의 대표물질, 초기 유체상태, 독성물질, 독성물질 함유량, 감시/차단 시스템 및 피해감소 시스템을 입력/선택한다. Inventory 프레임을 통해서 액체%, 기체밀도 등을 입력받아 장치의 inventory를 결정할 수 있다. 그리고, 결정된 위험도는 Fig. 12의 하단에 각 피해유형에 따라 나타내어진다.

6.8. 재정적 위험 분석

Fig. 13은 정량적 RBI에서 반영하는 재정적 위험을 평가하는 창으로 process unit manager를 통해 입력된 단위 공정의 재정적 위험 평가용 데이터들이

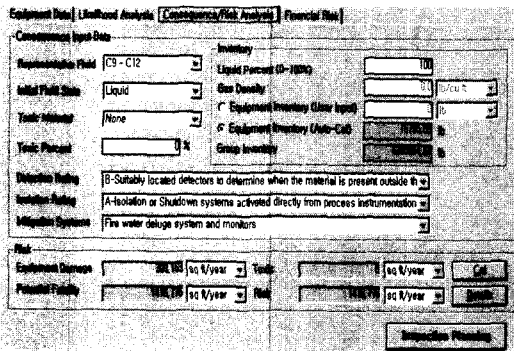


Fig. 12. Consequence analysis for quantitative RBI

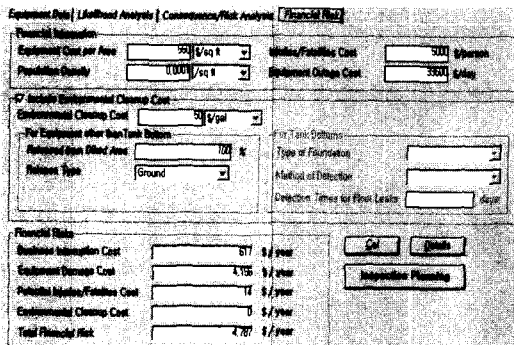


Fig. 13. Financial risk for quantitative RBI

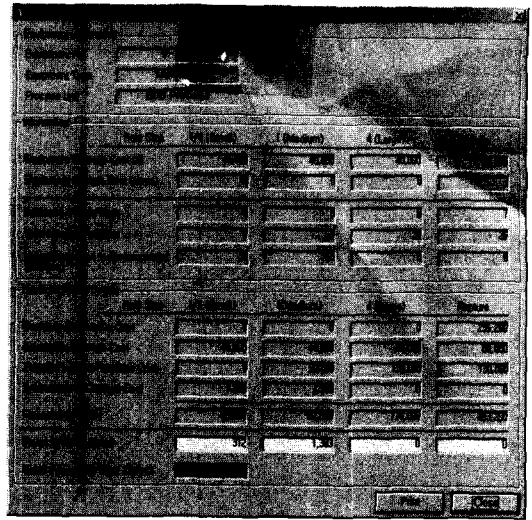


Fig. 14. Financial risk details for quantitative RBI

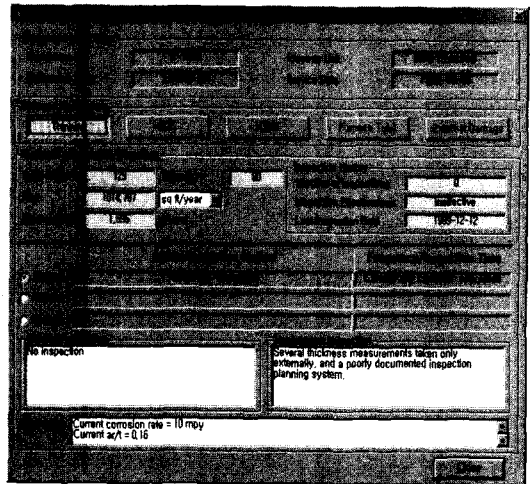


Fig. 15. Inspection planning for quantitative RBI

상단에 표시된다. 환경 오염에 따른 정화 비용산정에 있어서는 tank bottom과 tank bottom이 아닌 장치에 대해 Fig. 13의 가운데와 같이 다르게 고려한다.

재정적 위험 계산과정에서 생성되는 누출시나리오에 따른 가동중지시간, 중상 및 사망자 수, 환경으로 누출되는 양과 생산차질에 의한 손실, 장치 및 설비의 손상에 의한 보수·교체비용, 사망·부상에 따른 보상비용 및 환경 오염에 따른 정화비용 등을 세부 창으로 나타냄으로써 사용자가 재정적 위험 계산과정을 이해하는 데 도움을 준다. Fig. 14는 정량적 RBI의 재정적 위험 분석을 통해서 구해지는 중요 데이터를 나타내 주는 창이다.

6.9. 검사 계획

검사 계획은 각 손상기구에 대해 평가된 TMSF에 근거하여 장치의 검사주기 및 검사수준을 제시한다. Fig. 15은 정량적 RBI에서의 검사 계획 창이고 상단의 활성화되어 있는 손상기구를 클릭하면 그 손상기구에 대한 과거 검사기록인 검사횟수, 검사효율성, 마지막 검사날짜가 표시되고, 각 손상기구의 TMSF, 검사수준, 검사주기/시간 및 검사수준에 따른 세부 검사방법이 제시된다.

5. 결론

본 연구에서는 정유·석유화학 플랜트에서 경제성 및 효율성을 고려하여 설비의 진단 전략 및 진단의 우선 순위를 결정하는 RBI 절차의 국내 개발을 위해 정량적 RBI 절차에 대해 연구하였으며, RBI 소프트웨어인 *realRBI*의 정량적 평가모듈을 구현하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

1) API 581에 포함된 정량적 RBI 평가절차에 따라 기본 알고리즘을 결정하였으며, 이 절차에는 파손빈도, 파손피해 및 재정적 피해 분석절차 등이 포함되어 있다. API 581에 명확히 제시되지 않은 부분은 코드의 본문 내용 및 참고문헌에 근거하여 최종 알고리즘을 구성하였다.

2) 구성된 RBI 종합 알고리즘을 바탕으로 MS Visual C++ , MS Visual Basic 언어 및 MS Access를 사용하여 RBI 소프트웨어 *realRBI*의 정량적 평가모듈을 구현하였으며, GUI 환경을 구현하여 소프트웨어 사용자의 사용상 편의를 도모하였다.

3) 결과적으로 본 연구의 정량적 RBI와 이전 연구에서 보고한 정성적 RBI와 준정량적 RBI의 수행이 가능한 소프트웨어인 *realRBI*를 개발하였다. 개발된 소프트웨어로 API 581 절차에 충실한 RBI 평가결과를 얻을 수 있다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 산하 산업

설비 안전성평가 연구센터(SAFE)의 연구비 지원 및 한국가스안전공사의 연구비 지원으로 수행한 연구 결과입니다.

참고문헌

- 1) 윤석정, "RBI(Risk Based Inspection) 기법 추진 현황," 2001 국제가스안전세미나 자료집, 한국가스안전공사, pp. 5~25, 2001. 6.
- 2) 심상훈, 송정수 외, "API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(I) - 정성적 접근법," 산업안전학회지, Vol. 17, No. 3, pp. 66~72, 2002. 9.
- 3) 송정수, 심상훈 외, "API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(II) - 준정량적 접근법," 한국산업안전학회 투고 중.
- 4) 송정수, "RBI 절차의 개발 및 석유화학 플랜트의 적용에 관한 연구," 석사학위논문, 중앙대학교, 2001.
- 5) API 581, Risk Based Inspection Methodology. 1st edition, 2000. 2.
- 6) 송정수, 윤기봉 외, "API-RBI BRD에 따른 RBI 소프트웨어의 개발," 2001 한국산업안전·위생학회 공동 학술대회 논문집 pp. 381~386, 2001. 11.
- 7) 송정수, 심상훈, 윤기봉 외, "API 581에 근거한 RBI 소프트웨어의 알고리즘 개발," '01 한국가스학회 추계학술발표회 논문집 pp. 167~172, 2001.10.
- 8) 윤기봉, 송정수, 심상훈, "중대산업설비의 위험등급에 따른 진단평가 기술 개발 I," 과제 최종보고서, 한국가스안전공사, 2001.11.
- 9) 윤기봉, "위험도에 근거한 검사," 위험관리, 삼성화재, 2000년 겨울호 pp. 19~21, 2000.12.
- 10) Le May, "ASME Post Construction Standards : Current Status and Planning," Invited Seminar 및 PCS 연구회(가칭) 발기대회 자료집, 2000. 6.