

API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현 (II) - 준정량적 접근법 -

송정수 · 심상훈 · 권정락* · 윤기봉[†]

중앙대학교 공과대학 기계공학부 · *한국가스안전공사 가스안전시험연구원
(2002. 3. 14. 접수 / 2002. 11. 12. 채택)

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

Jung Soo Song · Sang Hoon Shim · Jung Rock Kwon* · Kee Bong Yoon[†]

Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

*Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

(Received March 14, 2002 / Accepted November 12, 2002)

Abstract : During the last ten years, the need has been increased for reducing maintenance cost for aged equipments and ensuring safety, efficiency and profitability of petrochemical and refinery plants. American Petroleum institute(API) developed a code, API 581 for proposing standard procedures of risk based inspection. Even though the API 581 code covers general RBI procedures, there must be some limitations. In this study, a semi-quantitative assessment algorithm for RBI based on the API 581 code was reconstructed for developing an RBI software. The user-friendly realRBI software is developed with a module for evaluating semi-quantitative risk category using the potential consequence factor and the likelihood factor. Also, inspection planning module for inspection time and inspection method for equipments are included.

Key Words : RBI, risk, likelihood, inventory group, instantaneous, continuous leak isolation, mitigation, prohibit, TMSF, inspection effectiveness

1. 서 론

공정설비 분야에서 검사 및 유지·보수비용은 자재비의 운전비용의 약 20% 정도에 이른다. 이러한 실 검사 비용의 지출외에도 연간 검사 계획에 의한 또는 수시로 발생하는 검사나 유지·보수 등에 의한 설비의 가동중지에 따른 생산 손실비용은 더욱 크다. RBI(Risk Based Inspection)는 설비의 종합적인 관리분야에서 지난 10년 동안 개발된 새로운 관리 기술이다. RBI는 검사 및 유지·보수계획의 수립, 관리 그리고 시행에 위험성 평가에 의한 우선 순위를 이용하는 것이다. RBI의 최대 장점은 각 설비별로 위험도에 근거한 효율적이고 경제적인 검사계획

을 수립하는 것이다¹⁾.

RBI의 개발과 적용을 선도하고 있는 산업분야는 정유, 가스, 원유정제 및 석유화학 등이다. 특히, API (American Petroleum Institute)가 20여 개의 업체와 공동 컨소시엄을 구성하여 5년간의 연구과제 수행결과로 제정한 API 581 절차가 대표적이며 이 RBI 절차는 정유·석유화학 설비의 위험도 평가, 진단계획 수립에 활용되고 있다.

이전 연구에서는 정성적(qualitative) RBI 절차에 대해 보고하였으나²⁾ 본 연구에서는 정성적 RBI보다 좀더 상세한 해석이 요구되는 API 581의 준정량적 RBI 절차를 근거로 하여 화재 및 폭발의 피해(flammable and explosive consequence)와 독성의 피해(toxic consequence) 등 파손피해를 분석하고 또 파손빈도를 분석하는 절차를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 각 분석 절차에 준하여 준정량적 RBI가

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

가능한 평가용 소프트웨어 모듈을 개발·구현하였으며 이를 본 논문에 설명하였다.

2. 준정량적 RBI의 파손피해 분석절차

준정량적 RBI는 일부 공정이 아닌 전체 공정 및 설비 데이터를 가지고 해석해야 된다. 어떠한 누출이 발생하고, 그 누출이 어떠한 상황으로 진전되는지를 결정하기 위해 여러 가지 지정된 누출시나리오를 고려하며 각각의 시나리오에 대해서 위험도를 결정한다. 준정량적 RBI에서는 위험 물질 누출에 의한 파손피해는 아래와 같이 9단계 절차를 수행하여 평가된다³⁾.

- 대표물질을 결정한다.
- 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.
- 피해면적에 의한 파손피해 범주를 결정한다.

Fig. 1은 위 평가 단계를 도식으로 표현한 것이다.

2.1. 대표물질 선정

실제 정유·석유화학플랜트 공정 내에서는 단일 단상의 유체를 사용하는 경우가 거의 없고, 혼합유체를 사용하고 있는 경우가 대부분이다. 혼합유체인

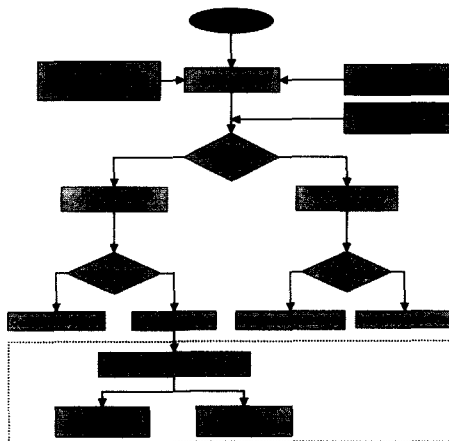


Fig. 1. Flowchart of semi-quantitative RBI

Table 1. List of materials modeled in semi-quantitative RBI analysis⁵⁾

Representative material	Example of applicable materials
C1-C2	Methane, ethane, ethylene, LNG
C3-C4	Propane, butane, isobutane, LPG
C5	Pentane
C6-C8	Gasoline, naphtha, light straight run, heptane
C9-C12	Diesel, kerosene
C13-C16	Jet fuel, atmospheric gas oil
C17-C25	Gas oil, typical crude
C25+	Residuum, heavy crude
H2	Hydrogen only
H2S	Hydrogen sulfide only
HF	Hydrogen fluoride
Water	Water
Steam	Steam
Acid (low)	Low-pressure acid with caustic
Acid (medium)	Medium-pressure acid with caustic
Acid (high)	High-pressure acid with caustic
Aromatics	Benzene, toluene, zylene
Styrene	Styrene

경우는 우선 비등온도, 몰무게(molecular weight)를 식 (1)에 적용하여 Table 1에서 가장 유사한 대표물질을 선택하여야 한다. 유사한 물질의 선택이 어려울 경우에는 밀도까지 식 (1)에 적용하여 Table 1에서 가장 유사한 대표물질을 선택한다.

$$(property)_{mix} = \sum x_i \times (property)_i \quad (1)$$

여기서 x_i 는 혼합물질의 몰분율(mole fraction)이고 $(property)_i$ 는 비등온도, 몰무게, 밀도 등이다⁴⁾.

2.2. 누출시나리오 결정

누출이 실제 발생하는 홀 사이즈는 다양하겠지만 준정량적 RBI에서는 이 홀 사이즈를 Table 2와 같이 4개로 구분하여 대표적인 4종류의 누출시나리오만을 사용한다. 배관과 압력용기는 small, medium, large 및 rupture 누출시나리오를 모두 사용하고, 펌프는 small, medium, large 그리고 압축기는 medium,

Table 2. Hole sizes used in semi-quantitative RBI analysis⁵⁾

Hole Size	Range	Representative value
Small	0 ~ 1/4 inch	1/4 inch
Medium	1/4 ~ 2 inches	1 inch
Large	2 ~ 6 inches	4 inches
Rupture	> 6 inches	entire diameter of item, up to a maximum of 16 inches

large 누출시나리오를 사용한다. 지상저장탱크의 상단부는 4개의 누출시나리오를 사용하고, 지상과 접해 있는 지상저장탱크 하단부는 large, rupture는 거의 발생되지 않기 때문에 small, medium 누출시나리오만을 사용한다⁵⁾.

2.3. 누출 가능량 결정

준정량적 RBI에서 누출 가능량은 정량적 RBI와 달리 inventory group을 고려하지 않고 Table 3을 이용하여 비교적 간단히 결정한다; Inventory group이란 누출사고 발생시 누출이 지속되지 않도록 플랜트의 다른 영역으로부터 고립되는 장치의 그룹으로 정의된다.

2.4. 누출률 결정

누출률은 유체의 상, 유체의 물성값, 운전 압력, 운전 온도, 누출시나리오 등에 의해 결정된다. 실제 장치 내 유체의 초기상태는 이상(異相)인 경우와 단상인 경우가 있다. 하지만 RBI에서는 유체의 누출률을 비교적 간단히 결정하기 위해서 장치 내 유체의 초기상태를 액체 또는 기체 등 단상으로 한정한다.

2.4.1. 액체 누출률

오리피스를 통과하는 액체의 누출은 Bernoulli와 Toricelli가 제안한 관계식인 식 (2)을 이용하여 누출률을 계산한다.

$$Q_L = C_{ld}A\sqrt{2\rho(P - P_a) - \frac{g_c}{144}} \quad (2)$$

이 식에서 Q_L 은 액체 누출률, A 는 홀 면적, ρ 는 액체 밀도, P 는 운전 압력, P_a 는 대기압, g_c 는 변환인자(conversion factor)를 나타낸다. 또한 액체 누출계수(liquid discharge coefficient) C_{ld} 는 일반적으로 0.60에서 0.64사이 값을 가지며 API RBI에서는 0.61을 사용한다.

Table 3. Inventory Category Ranges⁵⁾

Category	Range	Value used in calculations
A	100 to 1,000 lbs.	500 lbs
B	1,000 to 10,000 lbs	5,000 lbs
C	10,000 to 100,000 lbs	50,000 lbs
D	100,000 to 1,000,000 lbs	500,000 lbs
E	1,000,000 to 10,000,000 lbs	5,000,000 lbs

2.4.2. 기체 누출률

장치내의 기체는 운전 압력에 따라 아음속(亞音速) 또는 음속(音速)으로 누출된다. 다음의 식 (3)을 이용하여 결정된 P_{trans} 를 운전 압력과 비교하여 누출속도의 영역을 결정한다.

$$P_{trans} = P_a \left(\frac{K+1}{2} \right)^{\frac{K}{K-1}} \quad (3)$$

여기에서 K 는 C_p/C_v 이고 이때 C_p 는 정압 비열, C_v 는 정적 비열을 나타낸다. 식 (3)을 사용한 결과 운전 압력이 P_{trans} 보다 클 경우에는 음속으로 누출되고 작을 경우에는 아음속으로 누출이 발생된다. 음속인 경우에는 식 (4), 아음속인 경우에는 식 (5)을 이용하여 각각의 누출률 $W_{sonic\ gas}$ 및 $W_{subsonic\ gas}$ 를 결정한다.

$$W_{sonic\ gas} = C_{gd}AP\sqrt{\left(\frac{KM}{RT}\right)\frac{g_c}{144}\left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{K+1}{K-1}}} \quad (4)$$

$$W_{subsonic\ gas} = C_{gd}AP\sqrt{\left(\frac{M}{RT}\right)\frac{g_c}{144}\left(\frac{2K}{K-1}\right)} \times \sqrt{\left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{2}{K}}\left[1 - \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{K-1}{K}}\right]} \quad (5)$$

여기에서 기체 누출계수 C_{gd} 는 일반적으로 0.85에서 0.1사이 값을 가진다. 식 (4), (5)에서 M 은 몰무게, R 은 기체상수, T 는 운전 온도(R)이고, A, P, K, P_a, g_c 등은 앞 식에서 정의한 것과 동일하다⁶⁾.

2.5. 누출유형 결정

파손피해는 누출유형에 따라 상당히 많은 차이를 보이고 있다. 준정량적 RBI 접근방식에서는 모든 누출을 일시적인(instantaneous) 유형과 지속적인(continuous) 유형으로 나누어 고려한다. 일시적인 유형은 아주 빠른 시간에 누출이 되어 유체가 하나의 큰 증기운(cloud)나 액체 풀(pool)을 형성하는 것을 의미하고 지속적인 유형은 누출이 타원형 형태를 이루면서 비교적 오랜 시간동안 지속되는 것을 의미한다. 누출유형의 결정은 Fig. 2에 보인바와 같은 절차를 이용하여 초기 3분내의 누출량의 크기에 따라 이용하여 일시적인 유형과 지속적인 유형을 판단하여 결정한다.

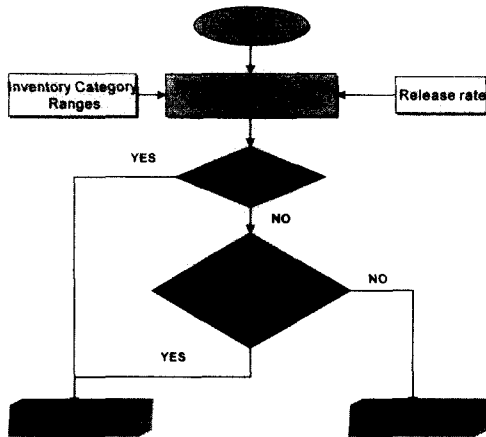


Fig. 2. Process to determine the type of release

2.6. 누출 시 유체의 상태 결정

누출 후 유체의 발산특징은 대기 상에 있을 때 유체의 상태에 영향을 받는다. 유체가 장치 내에서 대기 상으로 누출이 될 때 대기 중에서 다른 상태로 변하지 않는다면 최종 상태는 초기 유체 상태와 동일하다. 하지만 유체가 누출이 된 후 상태가 변한다면 유체상태를 정의하기가 어렵다. 따라서 간단히 파손피해를 평가하기 위한 유체의 최종상태는 Table 4의 기준을 이용하여 결정한다.

2.7. 감시·차단 시스템의 효과 결정

누출지속시간(leak duration)은 독성물질 누출사고 시 누출피해를 결정하는 주요 변수가 된다. 그러나 가연성 유체의 경우에는 누출 후 바로 대기 중에서 정상상태로 되기 때문에 누출지속시간은 주요 변수가 되지 않는다. 또한, 모든 석유화학·정유 플랜트에는 감시 시스템, 차단 시스템 등이 구축되어 있기 때문에 이때에는 이러한 시스템이 누출지속시간, 누출률 및 누출량에 영향을 미친다. 대상 장치의 감

Table 4. Guidelines for determining the phase of a fluid⁵⁾

At steady-state operating conditions	At steady-state ambient conditions	Fluid phase for consequence calculation
gas	gas	model as gas
gas	liquid	model as gas
liquid	gas	model as gas unless the fluid boiling point at ambient conditions is greater than 27°C, then model is a liquid
liquid	liquid	model as liquid

시(detection) 시스템과 차단(isolation) 시스템의 효과를 각각 A, B, C 등급으로 평가한 후 누출시나리오 종류에 따라 Table 5를 이용하여 각각의 경우에 누출지속시간을 결정할 수 있다. 화재 및 폭발 피해의 경우에는 Table 6을 이용하여 누출률과 누출량을 보정하게 된다.

2.8. 파손 피해면적 결정

누출에 의한 피해는 화재 및 폭발 피해와 독성 피해로 분류된다. 누출유형이 일시적인 유형인 경우에는 누출량, 지속적인 유형인 경우에는 누출률, 누출지속시간을 이용하여 파손피해를 결정한다.

2.8.1. 화재 및 폭발의 피해

RBI에서는 화재 및 폭발의 피해는 유체의 점화에 의해 피해면적을 산출하여 접근한다. 피해면적을 결정하기 위해서 식 (6)을 사용한다.

Table 5. Leak duration based on detection and isolation systems⁵⁾

Detection system rating	Isolation system rating	Leak duration
A	A	20 minutes for 1/4-inch leak 10 minutes for 1-inch leak 5 minutes for 4-inch leak
A	B	30 minutes for 1/4-inch leak 20 minutes for 1-inch leak 10 minutes for 4-inch leak
A	C	40 minutes for 1/4-inch leak 30 minutes for 1-inch leak 20 minutes for 4-inch leak
B	A or B	40 minutes for 1/4-inch leak 30 minutes for 1-inch leak 20 minutes for 4-inch leak
B	C	1 hour for 1/4-inch leak 30 minutes for 1-inch leak 20 minutes for 4-inch leak
C	A, B or C	1 hour for 1/4-inch leak 40 minutes for 1-inch leak 20 minutes for 4-inch leak

Table 6. Adjustments to release rate or release mass for flammable consequences⁵⁾

Response System Ratings		Consequence Adjustment
Detection	Isolation	
A	A	Reduce release rate or mass by 25%
A	B	Reduce release rate or mass by 20%
A or B	C	Reduce release rate or mass by 10%
B	B	Reduce release rate or mass by 15%
C	C	No adjustment to consequences

$$(Area)_{flammable} = c x^d \quad (6)$$

여기서 c , d 는 상수로서 대표물질, 유체의 최종 상태, 누출유형, 피해 유형 및 자연점화 가능성에 따라 정해진다. x 는 지속적인 유형인 경우에는 누출률, 일시적인 유형인 경우에는 누출량을 나타낸다.

정유·석유화학 플랜트에는 피해감소(mitigation) 시스템이 구축되어 있다. RBI에서는 대상 설비나 장치에 구축된 피해감소 시스템 효과를 피해면적 산출에 적용한다. 대상 설비나 장치의 피해감소 시스템효과를 Table 7을 이용하여 화재 및 폭발에 의한 피해면적 보정에 반영한다.

2.8.2. 독성 피해

순수한 불화수소 (HF), 암모니아 (NH₃), 염소(Cl) 등은 가연성을 가지고 있지 않고 독성만을 가지고 있는 데 반해 황화수소 (H₂S)는 가연성과 독성을 가지고 있다. 그러나 탄화수소계열과 독성 물질의 혼합 물질은 가연성과 독성의 특성을 모두 가지고 누출된다.

독성 피해는 독성에 노출된 시간과 독성 물질의 농도에 함수이며 인체에 미치는 영향은 식 (7)을 이용하여 결정한다.

$$Pr = B + D \ln(C^N t) \quad (7)$$

여기에서 B , C , D 는 독성 물질에 따른 상수, N 은 농도(ppm), t 는 노출 시간(minutes)을 나타낸다. API RBI에서는 50%의 치사율을 갖는 범위를 독성 피해면적의 범위로 사용하고 있다. 이 값은 5.0의 Pr(probbit, probability unit의 약자)값에 해당한다.

Table 7. Adjustments to flammable consequence for mitigation systems⁵⁾

Mitigation Systems	Consequence Adjustment
Inventory blowdown, coupled with isolation system rated B or higher	Reduce release rate or mass by 25%
Fire water deluge system and monitors	Reduce consequence area by 20%
Fire water monitors only	Reduce consequence area by 5%
Foam spray systems	Reduce consequence area by 15%

독성 피해면적 산출에 있어서 RBI에서는 누출유형에 따라 대략적으로 지속적인 유형은 Fig. 3, 일시적인 유형은 Fig. 4와 같이 각각 표현되고 식 (8)의 타원형 방정식으로 피해면적을 표현한다.

$$(Area)_{toxic} = \pi a b \quad (8)$$

여기에서 $(Area)_{toxic}$ 은 독성 피해면적 범위를 나타내며 a 와 b 는 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타낸 피해영역의 크기이다.

2.9. 파손피해 범주 결정

준정량적 RBI에서는 계산된 각각의 피해면적과 Table 8에 있는 해당 장치의 기본 파손빈도를 가지고 식 (9)에 대입하여 likelihood weighted average area를 계산하고, 계산된 값으로부터 Table 9를 이용하여 파손피해 범주를 결정한다.

$$\begin{aligned} & \text{Likelihood weighted average area} \\ & = \sum_{n=1}^4 area_n \times \frac{frequency_n}{\sum_{n=1}^4 frequency_n} \end{aligned} \quad (9)$$

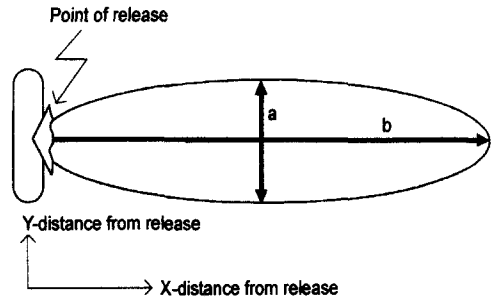


Fig. 3. Top view of toxic plume for a continuous release⁵⁾

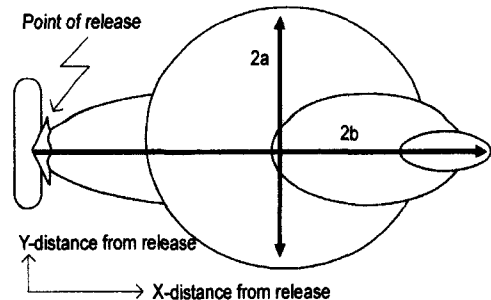


Fig. 4. Top view of toxic plume for an instantaneous release⁵⁾

Table 8. Suggested generic equipment failure frequencies⁵⁾

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

Table 9. Consequence area categories⁵⁾

Consequence Category	Likelihood weighted average area
A	< 10 ft ²
B	10 - 100 ft ²
C	100 - 1,000 ft ²
D	1,000 - 10,000 ft ²
E	> 10,000 ft ²

3. 준정량적 RBI의 파손빈도 분석절차

정량적 RBI에서는 Table 8에 제시되어 있는 기본 파손빈도에 장치 보정인자와 관리시스템 평가인자를 고려하여 파손빈도를 결정한다. 반면, 준정량적 RBI에서는 장치 보정인자 중에서 technical module subfactor(이하, TMSF)만을 사용하여 파손빈도를 평가한다. TMSF값은 두께감육, 응력부식균열, 고온수 소손상, 크리프, 피로, 취성파괴, 외부손상 및 라이닝 등 손상기구가 장치의 파손에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 부여된다. 각 손상기구에 할당되는 TMSF값은 최저 0에서 최고 5000이다.

각 손상기구에 부여된 TMSF값을 더하여 장치의 총 TMSF값을 결정한 후 Table 10를 이용하여 파손빈도 범주를 결정한다.

4. 준정량적 RBI 소프트웨어의 개발

본 연구에서 개발한 *realRBI*(risk evaluation and assessment of life software for RBI) 소프트웨어는 API 581의 부록에 제시되고 있는 평가 순서도를 기본으로 알고리즘을 개발하였고, 평가 순서도에 명확히 제시되지 않은 부분은 API 581 코드상의 본문 내용 및 참고문헌에 근거하여 준정량적 RBI 알고리즘을 개발하였다. 구성된 알고리즘을 바탕으로 MS Visual C++ 과 MS Visual Basic 언어를 사용하고 MS Access를 데이터베이스로 사용하여 소프트웨어를 개발하였다.

4.1. 설비 데이터

Fig. 5는 준정량적 RBI의 설비 데이터 입력창이고 이 부분을 통해서 장치의 운전 압력/온도, 설계 압력/온도, 장치의 두께, 직경, 길이, 재질, 가동시작 날짜, 설계 수명, 라이닝 등을 입력한다.

4.2. 파손빈도 분석

Fig. 6은 준정량적 RBI의 파손빈도 분석 창이고 이 부분을 통해서 장치의 검사기록 창 및 두께감육,

Table 10. Technical module subfactor conversion⁵⁾

Likelihood Category	Technical module subfactor
1	< 1
2	1 - 10
3	10 - 100
4	100 - 1,000
5	> 1,000

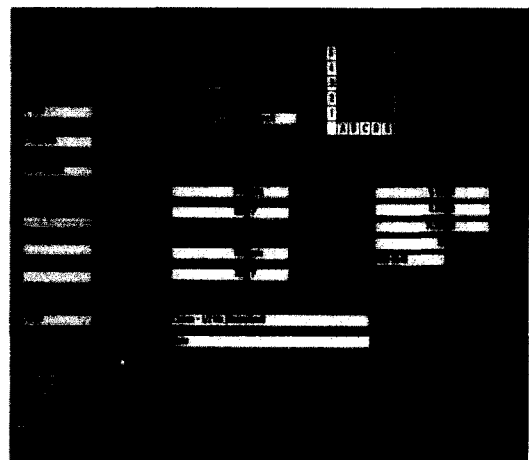


Fig. 5. Equipment data for semi-quantitative RBI

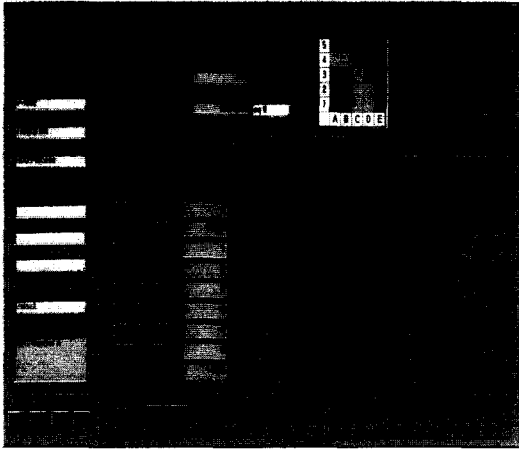


Fig. 6. Likelihood analysis for semi-quantitative RBI

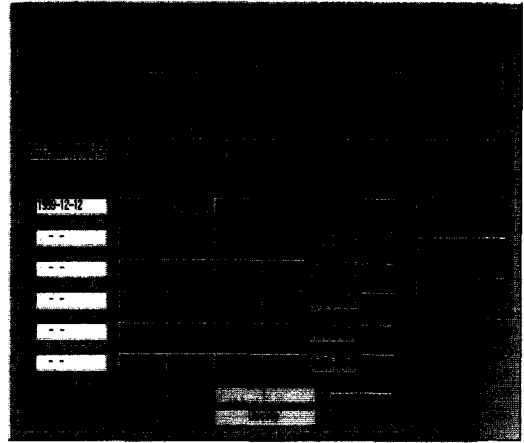


Fig. 7. Inspection history

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

준정량적 RBI에서는 과거의 검사기록을 파손빈도 분석에 사용하고 있다. 두께감육, 응력부식균열, 고온수소손상, 크리프, 외부손상 등 손상기구에 대한 과거의 검사기록은 각각의 손상기구의 TMSF를 결정하는데 주요한 인자이다. Fig. 7 는 각 손상기구에 따른 검사날짜와 그 검사의 효율성을 입력하는 창이다. API 581에서는 동일한 검사 효율성을 가진 검사가 다수 행해졌다면 그것은 상위 효율성을 가진 검사 1회로 변환하는 방식으로 입력된 다수의 검사횟수와 검사효율성에 대하여 간결화시킨다.

4.3. 파손피해 분석

준정량적 RBI의 파손피해 분석절차는 정량적 RBI절차와 거의 유사하지만 다른 점은 누출 가능량에 있어 정확한 값을 입력하지 않는다. Fig. 8은 준정량적 RBI의 파손피해 분석 창이고 이 부분을 통해서 장치의 대표물질, 초기 유체상태, 독성물질, 독성물질 함유량, 감시/차단 시스템 및 피해감소 시스템을 입력/선택한다.

본 연구에서 개발한 *realRBI* 소프트웨어 모듈은 사용자 입력데이터, 파손빈도 및 파손피해만을 소프트웨어 상에 표현하는 것이 아니라 중간 계산과정에서 생성되는 주요변수인 누출률, 누출지속시간, 누출유형, 누출량 및 각 누출시나리오에 따른 화재

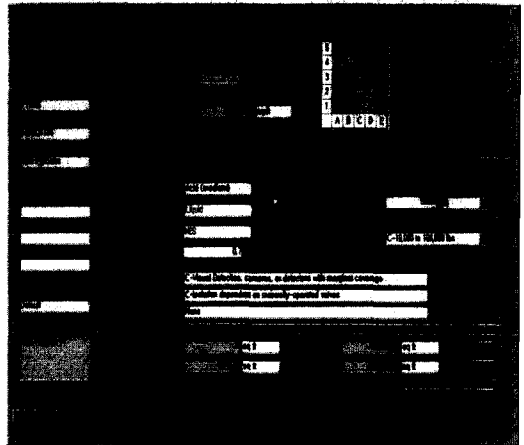


Fig. 8. Consequence analysis for semi-quantitative RBI

및 폭발에 의한 파손피해와 독성에 의한 피해 등을 세부 창으로 나타냄으로써 사용자가 위험도 계산과정을 이해하는데 도움이 되도록 구현하였다. Fig. 9는 준정량적 RBI 파손피해 분석을 통해서 구해진 주요 데이터를 나타내 주는 창이다.

4.4. 검사 계획 (Inspection planning)

검사 계획은 각 손상기구에 대해 평가된 TMSF에 근거하여 장치의 검사주기 및 검사수준을 제시한다. Fig. 10은 준정량적 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.

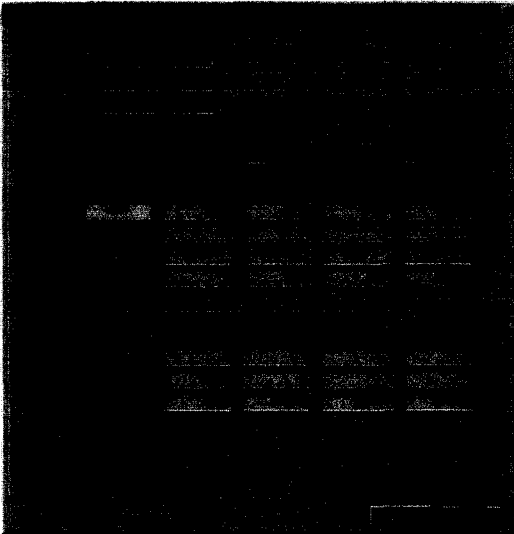


Fig. 9. Consequence details for semi-quantitative RBI

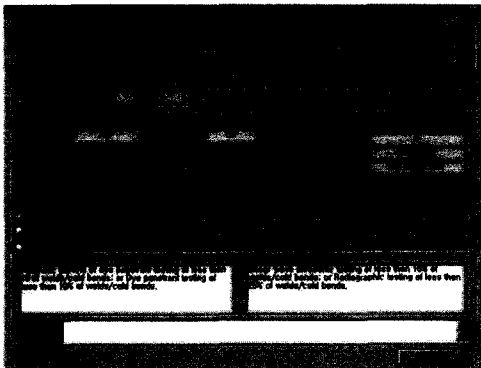


Fig. 10. Inspection planning for semi-quantitative RBI

5. 결론

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

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

구성하였다. 따라서 본 연구결과에서 개발된 *realRBI* 소프트웨어를 사용하면 API 581 절차에 충실한 준정량적 RBI 평가결과를 얻을 수 있다.

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

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 산하 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE)의 연구비 지원 및 한국가스안전공사의 연구비 지원으로 수행한 연구 결과입니다.

참고문헌

- 1) 한국산업안전공단, “위험기반검사(RBI) 기술에 대한 국제 동향 및 기술개발 적용방안,” 안전분야 기술자료, 안전 2001-18-235, 2001. 7.
- 2) 심상훈, 송정수 외, “API 기준에 근거한 RBI 절차 개발 및 소프트웨어의 구현(I) - 정성적 접근법,” 산업안전학회지, 2002. 9.
- 3) 송정수, “RBI 절차의 개발 및 석유화학 플랜트의 적용에 관한 연구,” 석사학위논문, 중앙대학교, 2001.
- 4) Robert C. Reid, John M. Prausnitz, Tomas K. Sherwood, “The properties of gases and liquids,” 4th edition, McGraw-Hill Book Company, 1987.
- 5) API 581, Risk Based Inspection Methodology, 1st edition, 2000. 2.
- 6) R. H. Perry, D. Green, “Perry's Chemical Engineering Handbook,” 6th edition, McGraw-Hill Book Company, 1984.
- 7) 송정수, 윤기봉 외, “API-RBI BRD에 따른 RBI 소프트웨어의 개발,” 2001 한국산업안전·위생학회 공동 학술대회 논문집 pp. 381-386, 2001. 11
- 8) 송정수, 심상훈, 윤기봉 외, “API 581에 근거한 RBI 소프트웨어의 알고리즘 개발,” '01 한국가스학회 추계학술발표회 논문집 pp. 167-172, 2001. 10
- 9) 윤기봉, 송정수, 심상훈, “중대산업설비의 위험등급에 따른 진단평가 기술 개발 I,” 과제 최종보고서, 한국가스안전공사, 2001. 11.
- 10) 윤기봉, “위험도에 근거한 검사,” 위험관리, 삼

성화재, 2000년 겨울호 pp. 19-21, 2000. 12.
11) I. Le-May, "ASME Post Construction Standards :

Current Status and Planning," Invited Seminar 및
PCS 연구회(가칭) 발기대회 자료집, 2000. 6.