

## 확률분포에 따른 불확실한 변수를 고려한 위험도기반의 정성적 평가

허 호 진, 정 재 욱, 김 주 동, 최 재 봉<sup>†</sup>, 최 송 천\*, 황 인 주\*\*  
성균관대학교 기계공학부, \*한국가스안전공사, \*\*건설기술연구원

### Qualitative RBI Analysis in Considered with Uncertain Variables by Probabilistic Distribution

Ho-Jin Heo, Jae-Uk Jeong, Joo-Dong Kim,  
Jae-Boong Choi<sup>†</sup>, Song-Chun Choi\*, In-Ju Hwang\*\*

*Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea*

*\*Institute of Gas Safety of Korea Gas Safety Corporation, Siheung 429-712, Korea*

*\*\*Korea Institute of Construction Technology, Plant research division*

*(Received October 19, 2012; revision received January 4, 2013)*

**ABSTRACT:** Plants which are having conditions of high temperature and pressure always are exposed to danger. In order to prevent unexpected accidents, safety management that can effectively and appropriately examine facilities is required in plant operation. RBI(Risk-Based Inspection) technology in API 581 is one of standard management technique for evaluating risk on petroleum plants. There are qualitative and quantitative assessments in RBI methodology. Quantitative evaluation step is complex and required much information, so high-risk facilities in plant are selected firstly by qualitative method. Qualitative RBI is performed by choosing the answer in prepared questionnaire. However, it is difficult to believe thoroughly results from survey including ambiguous information. In this study, the procedure of qualitative RBI analysis with considering probability distribution concept were proposed by using Monte Carlo simulation method in order to increase reliability in spite of uncertain factors. In addition, qualitative risk of cooling system for LNG plant was evaluated using proposed procedure. Although 20 items of total 39 assessment items are applied to uncertain factors, risk section of high probability(89%) were verified. The detailed results were described in manuscript.

**Key words:** Beta distribution(베타분포), Monte Carlo simulation(몬테카를로 시뮬레이션), Probability distribution(확률분포), Qualitative inspection(정성적 평가), Risk-based Inspection(위험도 기반 평가)

#### 1. 서 론

기술의 발전으로 플랜트가 대형화되면서 산업설

비들 역시 복잡하고 다양해지고 있다. 또한 높은 생산효율과 생산량을 위해 고온/고압의 조건에서 운전되고 있으며 이에 따른 각 설비들의 강한 내구성이 요구되고 있다. 플랜트 설비의 특성 상 작은 결함도 자칫 대형사고로 이어질 수 있으며, 이는 사회적, 경제적 큰 손실로 이어질 수 있기 때문에 설비의 안전한 관리의 필요성은 나날이 높아지고 있다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7458; fax: +82-31-290-5276

E-mail address: boong33@skku.edu

이에 따라 명확한 기준을 바탕으로 플랜트의 경제성 및 안정성을 판단하여 적절한 검사와 보수를 수행할 수 있는 판단기준이 요구되고 있으며, 이와 관련한 다수의 연구들이 진행된 바 있다.<sup>(1-7)</sup>

실제로 국내/외 정유(oil refinery) 및 가스플랜트 산업현장에서는 공학적 판단기준으로써 위험도기반평가(risk-based inspection : RBI)가 대표적으로 준용되고 있다.<sup>(1)</sup> 위험도기반평가는 설비의 파손가능성 및 파손으로 인한 피해의 상관관계를 고려한 안전관리 기법으로 주로 미국석유험회(american petroleum institute : API)의 API 580/581 코드에 의해 평가된다.<sup>(8, 9)</sup> API 코드에 기인한 RBI 평가는 정성적(qualitative)인 방법과 정량적(quantitative)인 방법으로 구분되며, 정성적 평가의 경우 평가지의 각 평가항목에 따라 평가를 진행하는 방식이며 정량적 평가의 경우 수식을 통해 정량적으로 산출된 위험도(risk)를 결정한다. 정성적 평가는 평가자의 판단에 따라 결정된 각 항목별 점수를 기반으로 위험도가 평가되기 때문에 검사자의 숙련도나 플랜트 환경에 따라 불확실한 변수들이 실재할 수 있으며, 이는 평가결과에 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 정성적 RBI 평가 시 불확실한 변수를 고려하고, 이를 확률론적인 방법으로 접근하여 보다 신뢰도 높은 결과를 도출할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 현재 지식경제부 주관으로 진행 중인 플랜트 고도화 사업<sup>(10)</sup>의 일환으로 제작된 LNG 플랜트 액화공정의 축소설비를 대상으로 평가를 수행하여 그 적용성을 검토하였다.

## 2. 위험도기반 검사

RBI 기법은 검사 프로그램의 운용 및 효율성에 대한 우선순위를 위험도에 근거하는 방법으로 특정 장치의 운전과 관련된 위험도를 결정하고, 위험도를 수반하는 중요인자를 규명한다. RBI 평가 기법은 정성적, 정량적 평가로 구분된다.

각 평가는 파손가능성(likelihood of failure : LOF)과 파손피해(consequence of failure : COF)를 종합적으로 고려하여 설비 위험도를 평가한다.

### 2.1 정성적 평가

정성적 RBI 평가는 플랜트 전반에 대한 설비 또는 주요 시스템에 대한 검사 우선순위를 결정하기 위

한 방법이다. 사고발생 가능성 범주(likelihood category)와 손상피해 범주(consequence category)에 대해 평가하며, 손상피해의 경우, 장치손상피해(damage consequence category)와 건강피해(health consequence category)를 각각 평가하여 보수적인 기준을 최종 손상피해로 결정한다. 정성적 평가의 세부항목은 Table 1에 정리한 바와 같이 16개의 계수를 설문조사를 통해 평가한다. 이와 같은 방법으로 결정된 사고발생 가능성과 피해크기를 등급화하여 위험도 행렬(risk matrix)에 정성적 위험도를 제시한다.

### 2.2 정량적 평가

정량적 평가는 장치에 대한 위험도를 내부 유체 및 기기 특성을 반영한 후 정량적으로 산출하여 위험도를 결정하는 방법으로, 식(1)과 같이 사고발생 가능성과 사고결과 크기의 곱으로 표현된다.

$$Risk = LOF \times COF \quad (1)$$

여기서, LOF는 일반적으로 장치나 설비의 파손가

Table 1 Factors of qualitative evaluation

Category	Factor	No. of variable
Likelihood category	Equipment Factor : EF	1
	Damage Factor : DF	11
	Inspection Factor : IF	1
	Condition Factor : CCF	1
Consequence category	Process Factor : PF	1
	Mechanical Design Factor : MDF	1
	Chemical Factor : CF	1
Health consequence category	Quantity Factor : QF	1
	State Factor : SF	1
	Autoignition Factor : AF	1
	Pressure Factor : PRF	1
Health consequence category	Credit Factor : CF	11
	Toxic Quantity Factor : TQF	2
	Dispersibility Factor : DIF	1
Health consequence category	Credit Factor : CRF	3
	Population Factor : PPF	1

능성이나 1년에 발생하는 파손횟수로 정의하며, COF는 한 건의 파손이 발생했을 때 피해 또는 손실의 정도를 피해면적이나 손실액으로 정의한다. 이 때 파손은 압력경계에서 대기 중에 누출이 발생하거나 압력장비에 손상이 발생하는 경우로 정의한다. API RP 581 코드에서는 압력용기(pressure vessel), 배관(pipe), 탱크(tank), 압력 릴리프장치(pressure relief device), 열교환장치(heat exchanger)에 대해 각각 LOF 및 COF의 계산절차와 이를 기반으로 한 위험도평가 방법을 제시하고 있다.<sup>(9)</sup>

### 3. 확률분포를 활용한 불확실한 변수 고려

#### 3.1 몬테카를로 분석법

몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)은 일련의 난수(random number)를 생성하는 방법으로써 확률모형의 모수(parameter)나 변수에 대하여 반복적으로 생성된 난수를 기반으로 확률변수의 미래 값을 예측하는 수치적 접근방법이다.<sup>(11)</sup> 몬테카를로 시뮬레이션을 위한 분석 절차는 다음과 같다.

1. 모형을 설정하고 또 특정 수치를 모수에 부여
2. 확률 변수의 분포를 정립
3. 외생변수(extraneous variable)에 대해 임의의 값 부여
4. 임의 추출하는 방법을 통해 방정식 분포 정의
5. 모형의 해 도출

#### 3.2 확률분포를 활용한 불확실 변수 결정

정성적 RBI 평가를 수행하기 위하여 사용되는 위험성등급에 따른 진단평가 질문서에는 각 세부항목별로 점수가 배점되어 있으며, 조건에 따라 점수가 차등으로 적용된다. 이에 따라 각 항목별로 최대/최소값이 존재한다. 또한, 각 항목 특성에 따라 공학적으로 판단 가능한 평균값 또는 중간값이 존재하는 경우도 있다. 본 연구에서는 이와 같은 각 항목의 특징을 고려하여 효과적으로 반영할 수 있도록 변수로 고려 시, 베타분포(beta distribution)<sup>(12)</sup>형태의 확률모델을 적용하였다. 베타분포는 [0, 1]구간에서 정의되는 연속 확률 분포의 하나로써 최대 및 최소값을 갖는 확률변수 모형에 주로 이용된다. 또한, 형태 파라미터  $\alpha$ ,  $\beta$ 에 따라서 확률분포 형태를

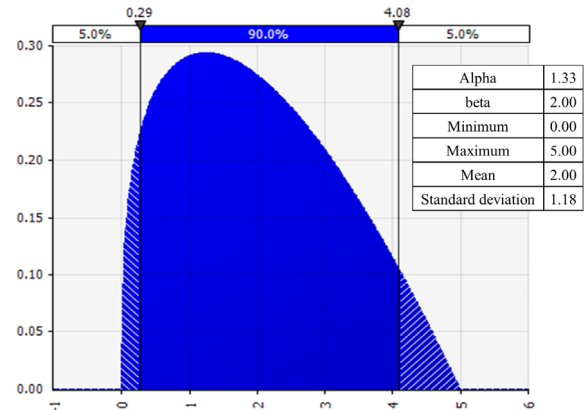


Fig. 1 Beta distribution.

결정할 수 있기 때문에 각 평가 항목별 특징을 반영하여 Fig. 1에 나타난 바와 같이 확률분포의 형태를 자유롭게 결정할 수 있다. 베타분포의 확률밀도함수(probability density function)는 식(2)와 같이 정의된다.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\int_0^1 u^{\alpha-1}(1-u)^{\beta-1} du} \quad (2)$$

여기서  $x \geq 0$ ,  $u \leq 1$ ,  $\alpha, \beta > 0$ 이다. 또한, 확률분포의 평균(mean), 분산(variance), 왜도(skewness)는 형태파라미터  $\alpha$ ,  $\beta$ 와 최대/최소값을 통해 식(3)~식(5)으로 계산된다.

$$Mean = \min + \frac{\alpha}{\alpha + \beta}(\max - \min) \quad (3)$$

$$Variance = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}(\max - \min)^2 \quad (4)$$

$$Skewness = 2 \frac{\beta - \alpha}{\alpha + \beta + 2} \sqrt{\frac{\alpha + \beta + 1}{\alpha\beta}} \quad (5)$$

#### 3.3 정성적 RBI 평가에 적용

정성적 RBI 평가 시 수행하는 정성적 위험성등급에 따른 진단평가 질문서는 각 항목에 대해 보기가 주어지며 검사자가 답을 체크하는 형식을 취하고 있다. 각 평가는 주어진 보기에서만 선택해야 하기 때문에 검사자의 숙련도나 검사 대상의 상황에 따라 평가결과에 차이가 발생할 수 있다. 이에 따라 통계적인 분석을 위해 불확실한 항목을 변수화하고, 각 변수에 대한 확률분포 모델을 고려하여

몬테카를로 분석법을 통해 확률론적으로 정성적 RBI 평가를 수행하는 방법을 고려하였다. 이를 검토하기 위해 우선적으로 Table 1에 제시된 정성적 RBI의 전체 평가항목을 변수화하여 몬테카를로 분석을 수행하였다. 전체 변수의 확률분포모델은 베타분포형태로 고려하였으며, 각 항목의 평균값 및 최대/최소값, 형태파라미터를 Table 2와 같이 결정하였다.

확률론적인 RBI 평가를 위해 대표적인 확률통계 분석 프로그램인 The Decision Tools Suite<sup>(13)</sup>을 이용하였다. 세부기능 중 PrecisionTree 기능을 활용하여 Fig. 2와 같이 각 변수의 경우의 수를 기반으로 트리 다이어그램(tree diagram)을 작성하였다. 이를 기반으로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며, 충분한 통계분포를 도출하기 위해 반복횟수(iteration)는 총 5,000번을 고려하였다. 또한 결과분석을 위해 The Decision Tools Suite의 Top-rank 및 Risk analysis 기능을 이용해 영향이 큰 변수와 각 변수의 영향 범위를 분석하였다.

Fig. 3은 정성적 RBI 평가결과에 영향을 미치는 상위 변수들을 토네이도 다이어그램(Tornado diagram)로 나타낸 것이다. 토네이도 차트는 데이터 범주를 영향이 큰 순서를 세로로 정렬하여 보여주는 막대그래프의 한 종류이며, 그 형태가 토네이도의 형태와 유사하다. 이 그래프를 이용하면, 불확실한 변수의 상대적인 민감도 분석에 유용하다.<sup>(15)</sup> 분석결과, 손상계수의 ‘Unit 평가의 구역수준(EF1)’, ‘손상기구에 대한 평가/전문가의 자문 여부(DF11)’가 사고발생가능성 범주에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 장치손상피해 범주에서는 물질량계수의 ‘1회 누출 시 유실되는 가연성 Inventory의 최대량(QF1)’과 발화계수의 ‘AIT(자동 발화온도)의 운전 중 온도(AF1)’가 큰 영향을 미치는 변수인 것으로 나타났으며, 건강피해 범주에서는 신뢰도계수의 ‘격리장치의 성질(CRF2)’, ‘반경 1/4

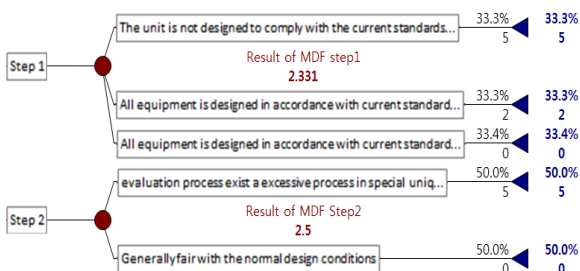
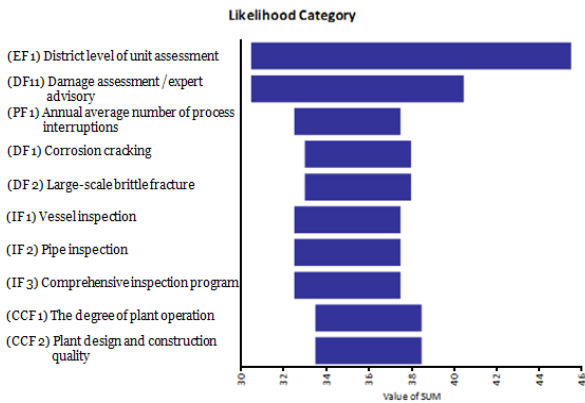


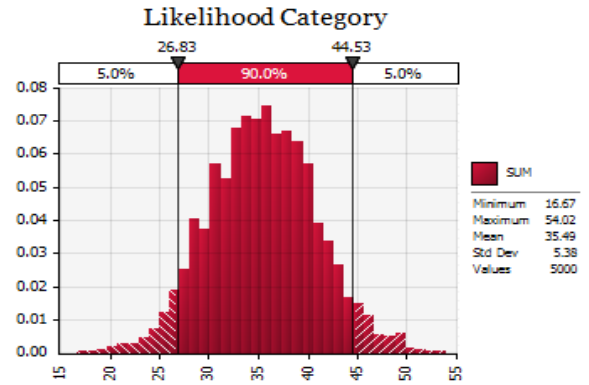
Fig. 2 Example of drawing tree diagram.

Table 2 Summary of beta distribution parameters for qualitative RBI factors

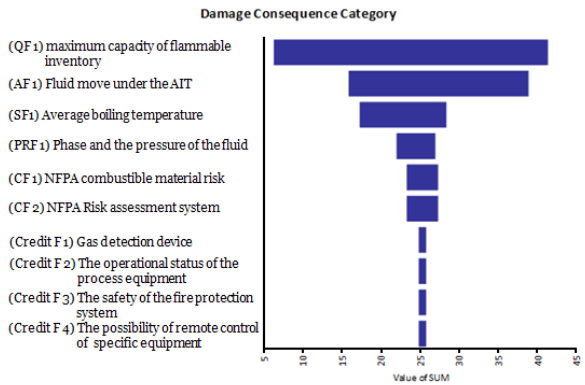
Category	Sub-section	Mean	Max. value	Min. value	Parameter		
					$a$	$\beta$	
Likelihood	EF1	5	2.9	2	2	4	
	DF1	2.5	5	0	2	2	
	DF2	2.5	5	0	2	2	
	DF3	2	4	0	2	2	
	DF4	1.5	3	0	2	2	
	DF5	1.5	3	0	2	2	
	DF6	1.5	3	0	2	2	
	DF7	1	2	0	2	2	
	DF8	0.5	1	0	2	2	
	DF9	0.5	1	0	2	2	
	DF10	0.5	1	0	2	2	
category	IF1	-2	0	-5	2.99	2	
	IF2	-2	0	-5	2.99	2	
	IF2	-2	0	-5	2.99	2	
Likelihood	CCF1	2	5	0	2	2.99	
	CCF2	2	5	0	2	2.99	
	CCF3	2	5	0	2	2.99	
	PPF1	3	5	0	2.99	2	
	PPF2	3	5	0	2	2.99	
	PPF3	3	5	0	2	2.99	
	MDF1	3	5	0	2	2.99	
	MDF2	2.5	5	0	2	2	
	Consequence	CF1	2	4	0	2	2
		CF2	2	4	0	2	2
		QF	34	50	15	2.34	1.97
SF		5	8	-3	5.33	2	
AF		0	13	-10	1.39	2	
PRF		-12	-10	-15	4.03	2	
CF1		-0.5	0	-1	2	2	
CF2		-0.5	0	-1	2	2	
CF3		-0.5	0	-1	2	2	
category		CF4	-0.5	0	-1	2	2
		CF5	-0.5	0	-1	2	2
	CF6	-0.5	0	-1	2	2	
Consequence	CF7	-0.5	0	-1	2	2	
	CF8	-0.5	0	-1	2	2	
	CF9	-0.5	0	-1	2	2	
	CF10	-0.5	0	-1	2	2	
	CF11	-0.5	0	-1	2	2	
Health consequence	TQF1	23.5	35	15	1.47	1.99	
	TQF2	-2	20	-20	1.67	2.04	
	DIF1	0.5	1	0.03	2	2	
category	CRF1	-0.5	0	-1	2	2	
	CRF2	-5	-1	-25	9.99	2	
	CRF3	-2.5	0	-5	2	2	
Health consequence	PPF1	10.5	20	0	2.21	2	



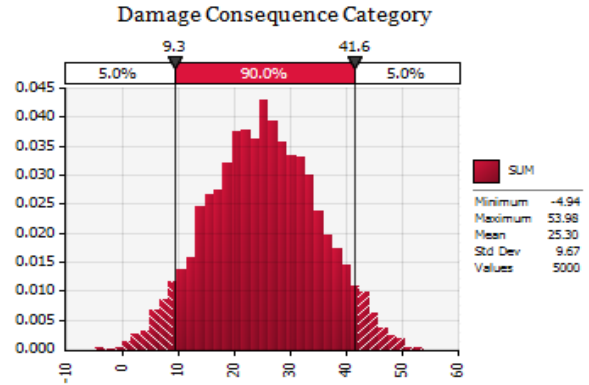
(a) Likelihood category



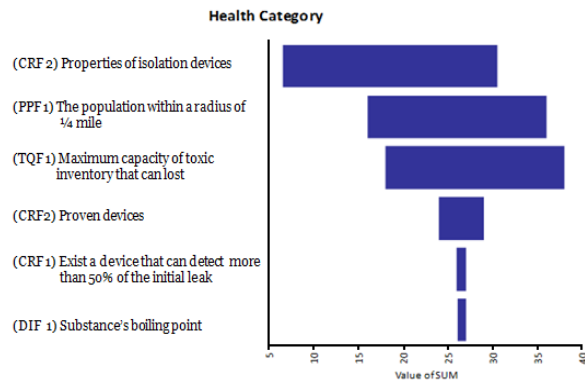
(a) Likelihood category



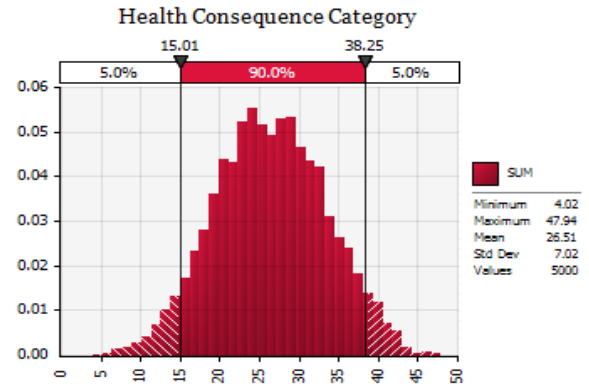
(b) Damage consequence category



(b) Damage consequence category



(c) Health category



(c) Health category

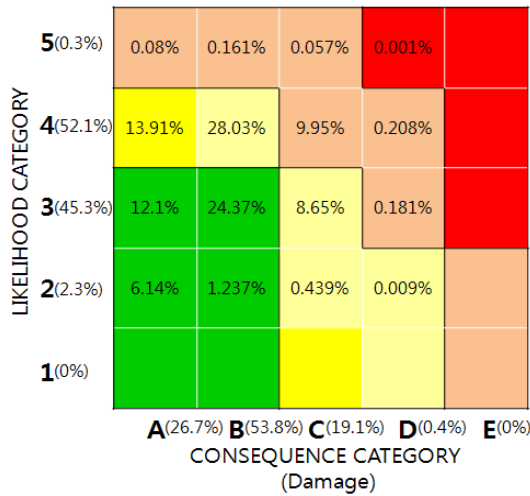
Fig. 3 Tornado diagrams of probabilistic qualitative RBI assessment.

Fig. 4 Probability distribution of evaluation result.

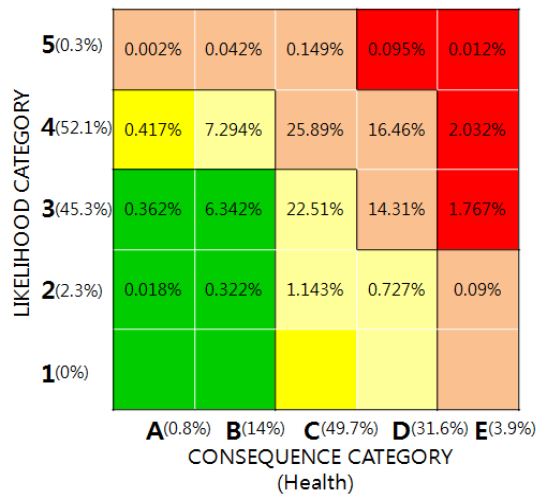
마일 내의 인구 수(PPF1)와 독성량계수의 '1회 누출사고로 유실될 수 있는 독성 Inventory의 최대량(TQF1)'이 위험도에 큰 영향을 미치는 상위 인자들인 것으로 나타났다.

한편 시뮬레이션 결과를 Fig. 4와 같이 확률분포로 나타낸 결과 사고발생가능성의 경우 평균값 35.49, 표준편차 5.38, 장치손상피해는 평균값 25.3, 표준편차 9.67, 건강피해는 평균값 26.51, 표준편차

7.02로 나타났으며, 이 결과를 기반으로 위험도 행렬(risk matrix)을 Fig. 5에 정리하였다. 전체 평가 항목을 변수로 가정하여 평가한 결과 위험도 분포가 Fig. 4에 나타난 바와 같이 정규분포형상을 띄고 있으며, Fig. 5에 나타난 위험도 행렬 상에도 골고루 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 제안한 확률분포를 이용한 평가법이 타당한 것으로 판단할 수 있다.



(a) In case of using damage consequence category for COF



(b) In case of using health category for COF

Fig. 5 RBI matrix of probabilistic qualitative assessment.

#### 4. LNG 플랜트의 확률론적 RBI 평가

국내 플랜트 고도화 사업의 일환으로 건설 중인 LNG 플랜트 액화공정의 축소설비(Test-bed Train No.1 : TB1)<sup>(14)</sup>를 대상으로 불확실 변수를 고려한 확률론적 정성적 평가를 수행하였다.

##### 4.1 LNG 플랜트 조건 분석

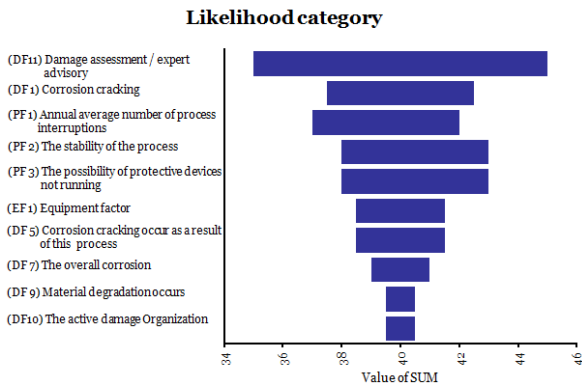
LNG 플랜트 TB1<sup>(14)</sup>의 기본 설계집을 바탕으로 평가 항목 중 판단하기 어려운 인자 20개를 불확실한 변수로 고려하였으며, 선정된 인자들은 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Selection of uncertain variables for LNG plant test-bed train no.1

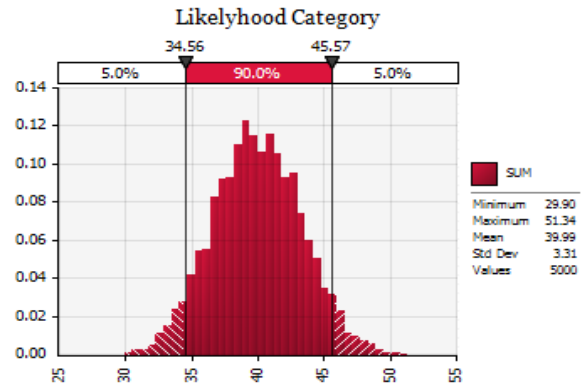
Category		Subsection
Likelihood category	Damage Factor	DF1
		DF5
		DF7
		DF9
		DF10
		DF11
Quantity Factor		QF
Consequence category	Credit Factor	CF1
		CF2
		CF3
		CF4
		CF5
		CF6
		CF7
		CF8
		CF9
		CF10
		CF11
Health consequence category	Toxic Quantity Factor	TQF1
	Credit Factor	CRF2

#### 4.2 평가결과

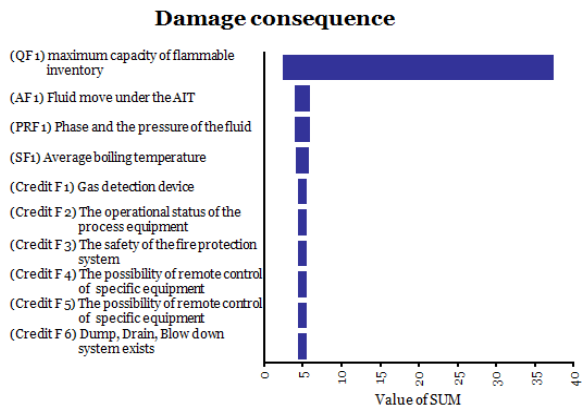
실제 LNG 플랜트 조건을 기반으로 불확실변수를 확률분포로 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 기반으로 위험도에 영향을 미치는 불확실 변수들의 순위를 Fig. 6에 정리하였다. 사고발생가능성 범주에서는 장치계수의 '부식균열의 발생여부(DF1)'와 '손상기구에 대한 평가/전문가의 자문여부(DF11)'가 위험도에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 장치손상피해 범주에서는 물질량 계수의 '1회 누출 시 유실되는 가연성 Inventory의 최대량(QF1)', 건강피해는 신뢰도계수의 '격리장치의 성질(CRF2)'과 독성량계수의 '1회 누출사고로 유실될 수 있는 독성 Inventory의 최대량(TQF1)'이 가장 큰 영향을 미치는 불확실한 변수인 것으로 확인되었다. 이를 통해 위험도 평가의 신뢰도를 향상시키기 위해 우선적으로 검토해야할 불확실 변수를 제시할 수 있



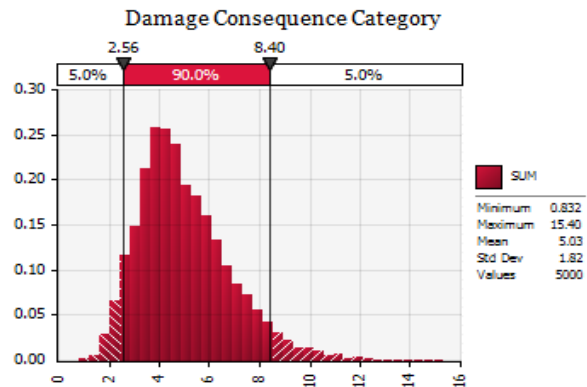
(a) Likelihood category



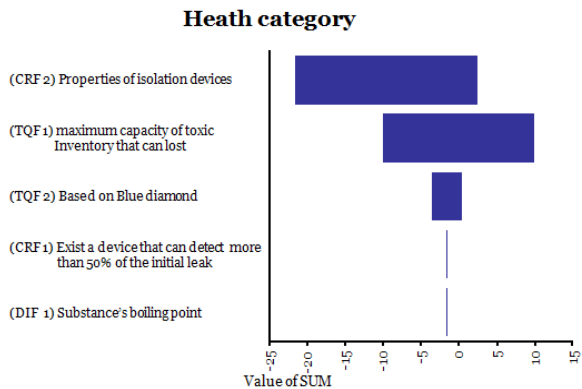
(a) Likelihood category



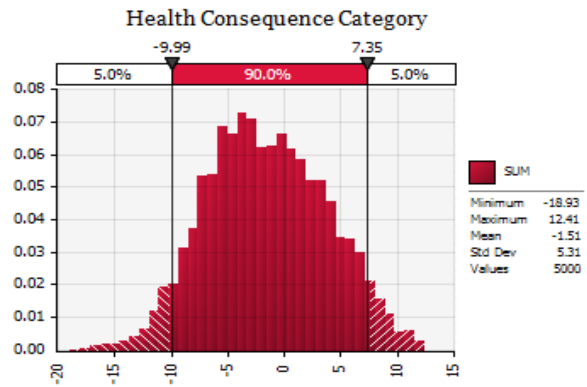
(b) Damage consequence category



(b) Damage consequence category



(c) Health category



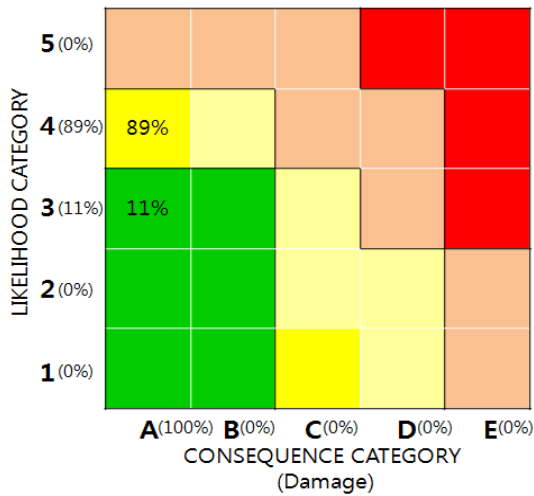
(c) Health category

Fig. 6 Tornado diagrams of qualitative RBI result for LNG plant test-bed train no.1.

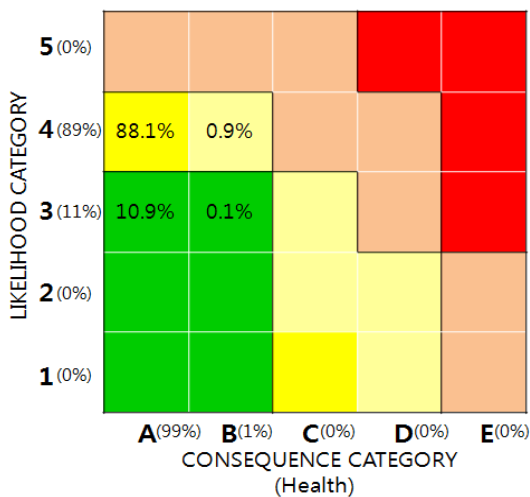
Fig. 7 Probability distribution of evaluation result for LNG plant test-bed train no.1.

다. 한편, Fig. 7은 평가결과의 확률분포를 나타낸 것이다. 사고발생가능성의 경우 평균값 39.99, 표준편차 3.31를 나타냈으며, 장치손상피해는 평균값 5.03, 표준편차 1.82, 건강피해는 평균값-1.51, 표준편차 5.31를 나타냈다. 이와 같은 결과를 바탕으로 위험도 행렬을 Fig. 8와 같이 작성하였다. 총 39개의 항목 중 20개의 항목에 불확실 변수를 적용하여 평가했

음에도 불구하고 위험도 범위는 두 개(장치손상피해 기준) 및 네 개의 영역(건강피해 기준)에 집중된 것을 확인할 수 있다. 장치손상피해 기준으로 89%, 건강피해 기준으로 88.1%의 확률로 중간(Medium) 수준의 위험도를 나타내는 것을 확인하였다. 이에 따라서 위험도에 영향을 미치는 불확실 변수들의 우선순위에 따라 재검토를 수행함으로써 보다 효율적



(a) In case of using damage consequence category for COF



(b) In case of using health category for COF  
 Fig. 8 RBI matrix for LNG plant test-bed train no.1.

으로 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 불확실 변수를 고려한 정성적 위험도 평가를 확률분포 및 몬테카를로 시뮬레이션을 이용해 평가하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 이에 대한 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 불확실 변수를 베타분포 형태로 고려하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 정성적 위험도 평가법을 제시하였으며, 전체 평가 인자 중 사고발생가능성 범주는 ‘Unit 평가의 구역수준(EF1)’, ‘손상기구의 평가/전문가의 자문 여부(DF11)’가 장치손상피해 범

주에서는 ‘1회 누출 시 유실되는 가연성 Inventory의 최대량(QF1)’과 ‘AIT(자동발화온도)의 운전 중 온도(AF1)’, 건강피해 범주에서는 ‘격리장치의 성질(CRF2)’, ‘반경 1/4마일 내의 인구 수(PPF1)’, ‘1회 누출사고로 유실될 수 있는 독성 Inventory의 최대량(TQF1)’가 평가결과에 큰 영향을 미치는 인자들로 확인되었다.

(2) LNG 플랜트 냉각계통을 대상으로 제시된 평가법을 적용하였으며, 적용결과 총 39개의 평가항목 중 51%에 해당하는 20개의 항목에 불확실변수를 적용하여 RBI 평가를 수행하였음에도 불구하고 약 89%의 높은 확률을 갖는 위험도 구간을 도출하였다.

(3) 제시된 평가법을 활용하면 API 581 기반의 위험도 평가 시 불확실변수가 일부 포함하더라도 높은 신뢰성의 위험도 평가를 수행할 수 있으며, 또한 재검토해야 하는 불확실 인자들의 우선순위를 판단할 수 있다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 LNG 플랜트사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Shim, S. H., Song, J. S., Kim, J. Y., and Yoon, K. B., 2003, A Study on the Application of RBI Procedure for Petrochemical Plant, Transaction of KSME(A), Vol. 27, No. 3, pp. 416-423.
2. Horikawa, H., Yoshikawa, M., and Takasu, N., 2004, Structural Integrity Assessment for Various Failure Modes Using a Risk-Based Maintenance Method, ASME PVP, Vol. 490, pp. 261-270.
3. Bareib, J., Buck, P., Matschecko, B., Jovanovic, A., Balos, D., and Perunicic, M., 2004, RIMAP Demonstration Project. Risk-Based Life Management of Piping System in Power Plant Heilbronn, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 81, pp. 807-813.
4. Fujiyama, K., Nagai, S., Akikuni, Y., Fujiwara, T., Furuya, K., Matsumoto, S., Takagi, K., and Kawabata, T., 2004, Risk-Based Inspection and Maintenance Systems for Steam



- Turbines, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 81, pp. 825-835.
5. Jovanovic, A., 2003, Risk-Based Inspection and Maintenance in Power and Process Plants in Europe, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 226, pp. 165-182.
  6. Nilsson, F., 2003, Risk-Based Approach to Plant Life Management, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 221, pp. 293-300.
  7. Schroder, H. C. and Kauer, R., 2004, Regulatory Requirements Related to Risk-Based Inspection and Maintenance, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 81, pp. 847-854.
  8. American Petroleum Institute, 2000, Risk-Based Inspection, *API Recommended Practice* 580.
  9. American Petroleum Institute, 2000, Risk Based Inspection-Base Resource Document, *API* p. 581.
  10. Choi, S. C., 2009, Development of RBI for LNG Plant System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 38, No. 3, pp. 35-44.
  11. Shin, D. B., 2007, Forecasting Exchange Rates by Monte Carlo Simulation, *Industrial Economic Research*, Vol. 20, No. 5, pp. 2075-2093.
  12. Oguamanam, D. C. D., Martin, H. R., and Hui-ssoon, J. P., 1995, On the Application of the Beta Distribution to Gear Damage Analysis, *Applied Acoustics*, Vol. 45, No. 3, pp. 247-261.
  13. Palisade, *The Decision Tools Suite Add0In for Microsoft Excel manual Version 6.0*.
  14. Yang, Y. M., 2009, The need and promoting direction of gas plant technology development projects, *SAREK*, Vol. 38, No. 3, pp. 4-12.
  15. A guide to the project management body of knowledge(PMBOK guide) forth edition, p. 257.