

# Risk Based Inspection 기법을 이용한 화학공장의 안전성 향상에 관한 연구

노용해<sup>†</sup> · 유진환 · 서재민 · 임차순 · 고재욱

광운대학교 화학공학과

(2002. 2. 23. 접수 / 2002. 7. 16. 채택)

## A Study on the Safety Enhancement of Chemical Plants Using Risk Based Inspection Method

Yong-Hae Noh<sup>†</sup> · Jin-Hwan Yoo · Jae-Min Seo · Cha-Soon Im · Jae-Wook Ko

Department. of Chemical Engineering, Kwangwoon University

(Received February 23, 2002 / Accepted July 16, 2002)

**Abstract :** The RBI technique proposed by API is composed of three steps. The qualitative RBI method can be used for the purpose of screening the components with high risk. And, the quantitative RBI method employs complex risk evaluation model for predicting component risk in a quantitative manner. The inspection program can be optimized based on the results obtained by these RBI technique. The forementioned RBI technique has been applied to a common hydrodesulfurizer unit and the technique is critically evaluated for studying its benefits and limitations, which is the main issue of this thesis. It's conducted that the RBI method can provide a method for defining and measuring the component risk, and also provide a powerful tool for managing many of the important elements of a process plant.

**Key Words :** RBI(risk based inspection), RBM(risk based management), inspection

### 1. 서 론

현대의 화학산업시설에서는 다양한 잠재위험으로 인하여 화재, 폭발, 독성물질 누출 등의 중대산업사고의 발생 가능성 및 사고결과의 피해 범위가 증가되고 있다. 만약 사고가 발생한다면, 현장의 근로자, 인근지역 주민, 주변의 환경에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 사회적·경제적 불안 요소를 제공하게 된다. 지금까지는 정량적 위험성 평가라는 방법을 사용하여 화학공장의 안전관리를 수행하였으나 이번 연구에서는 이러한 사고의 위험도를 낮추기 위하여 RBI라는 기법을 사용하여 효과적이고 효율적인 안전성 향상 모델을 제시하고자 한다.

최근 5년간 미국에서는 RBI를 구체화시키는 작업을 하여 이제 거의 마무리 단계에 들어갔고 이 결과로 API 580(Recommended Practice for Risk Based

Inspection), API 581(Risk Based Inspection, Basic Resource Document)의 규정집과 자료집을 발간하게 되었다. 또한 사용 적정성 평가 기법(Fitness for Service)이나 ASME에서도 Risk-Based Inspection Development of Guidelines를 통하여 이 부분에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 BP, Shell, Sun, Chevron, Texaco, Ashland, Mobil, Phillips, DuPont, Marathon 등 전 세계적인 기업차원에서 연구가 진행되고 있으며, 또한 이들은 자체 기술을 전혀 공개하지 않고 있는 실정이다. 따라서 연구 개발이 현시점에서 이루어지지 않는다면, 향후 이 기법을 사용하려면 몇 배 이상의 가격으로 수입을 감수하지 않을 수 없고 기술적인 의존도는 이보다 더욱 더 심화될 것이다.

### 2. RBI 기법의 개념

RBI 프로그램을 수행하기 이전에 우리는 전통적인 위험성 평가방법에 대하여 알고있어야 한다. 왜

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
yhnoh@skcc.com

나하면 기존에 사용되던 위험성 평가방법이 RBI의 일부분에 속하기 때문이다. 결국 RBI는 기존의 위험성 평가와 기계적인 평가가 합해진 것이다.

위험성평가의 어떤 부분은 RBI 프로그램에서는 다르게 취급된다. 예를 들면, 전통적 위험성평가에서는 잠재위험 인식이 중요한 과정이지만, RBI 프로그램은 unit의 압력 범위에 초점을 두고 그 범위에서 확인할 수 있는 degradation의 메커니즘을 통하여 오류가 발생될 것이라 가정한다.

RBI 프로그램에서는 기계적 오류 혹은 인적오류 같은 것들로 발생하는 누출은 관리 시스템의 평가에 내부적으로 고려되지만, 전통적 위험성 평가에서는 이런 오류들은 외부적으로 계산된다.

전통적 위험성평가의 주요한 목표는 발생가능한 다양한 시나리오들을 평가하는 것이다. 각 시나리오의 발생 빈도와 영향 결과를 계산하고 이들의 조합으로 위험도를 표현하게 된다. 전통적 위험성 평가에서는 공정의 특성과 평가의 방법에 따라 많은 수의 시나리오를 얻을 수 있고 이런 각 시나리오의 빈도와 영향을 평가하고 조합하여야 하지만 RBI 프로그램에서는 제한되기도 신중히 정의된 시나리오만을 사용하게 된다.

### 3. RBI 기법의 기술적 배경

모든 압력용기나 장치들은 여러 형태의 결함을 가지고 있다. 그러나 대부분의 이러한 결함들은 압력장치를 가동하는 데는 지장이 없는 결함들이며 이 중 소수가 누출이나 파손을 발생시킬 수 있고 또 그 중 아주 극소수가 대형사고를 일으킬 수 있다. 이 극소수의 결함들을 사고 전에 미리 효과 적절하게 찾아낼 수 있는 능력을 개발하는 것이 RBI의 주요한 목적중 하나이다. 한 공장을 전체적으로 둘러볼 때도 여러 부분의 unit들 가운데서 어떠한 장치/설비 분야에서도 문제를 일으킬 수 있는 잠재성을 가질 수 있다. 이러한 경우에서 주어진 예산과 시간 내에서 어느 부위에서부터 우선적으로 검사 혹은 개선을 해야할지 결정하는 과정이 필요하다. 이러한 결정과정에 분석적이고 정량적인 상대적 비교가 (우선순위 결정) 요구되는데 RBI가 그 방향을 제시하여주는 기술이다.

RBI란 압력 용기 및 장치의 파손 확률(likelihood of failure)과 손해정도(consequence of failure)를 체계적으로 종합하여 압력장치의 전반적인 위험도를 정

량적 혹은 정성적으로 분석하여 검사 및 교체시기의 우선순위를 결정하는 방법이다<sup>2)</sup>. 이 방법은 의사 결정과정에서 부식, 검사, 공정 분야의 정보들이 모두 고려되어야한다.

다음은 기본적인 RBI의 수행절차를 나타낸다.

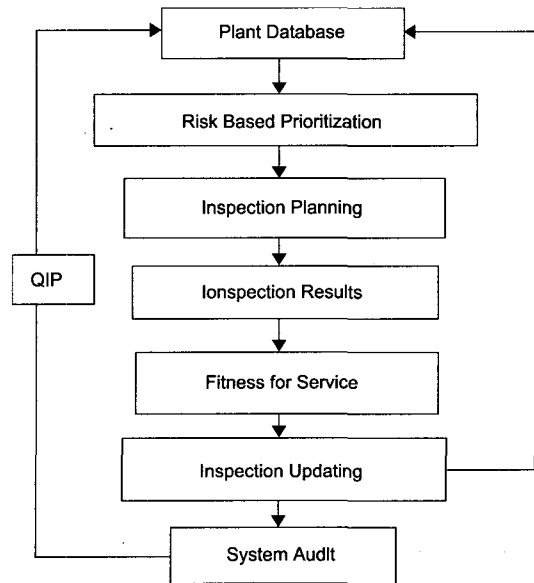


Fig. 1. Procedure of risk based management

### 4. 정성적 RBI 기법

정성적 접근방법은 정량적 분석 방법보다 상세하지 않고 시간이 적게 소비된다는 점을 제외하고는 정량적 분석 방법과 비슷하다. 정성적 접근방법의 결과가 정량적 분석 방법의 결과보다 정확하진 않지만, RBI 프로그램에서의 우선 순위를 정하기 위한 기초적인 결과를 제공한다.

정성적인 분석은 다음과 같은 범위 중 하나로 수행된다.

- 조업 unit
- 조업 unit에서의 주요한 부분 혹은 기능적 부분
- 시스템

위에서, unit라는 단어는 이러한 단계의 어떤 하나로 사용되어질 것이다. 정성적 접근방법은 unit의 장치의 수에 크게 영향을 받는다.

정성적인 RBI 기법은 다음과 같은 세 가지 기능

을 가지고 있다.

① 적절한 분석의 정도를 결정하기 위해서 공장에서의 unit를 우선순위화하고 그 효과를 알 수 있다.

② 분석하는 공정에서의 unit의 위험도를 계산하고 위험성 매트릭스에 적용한다.

③ 공장에서 위험한 지역을 확인하고 진단 프로그램을 적용한다.

분석을 할 때는 먼저 그 범위에 나타날 수 있는 파손의 가능성을 나타내는 인자를 결정하고 그 후 사고 손실의 인자를 결정한다. 그리고 나서 그 두 인자로 unit의 위험도를 결정하기 위한 위험성 매트릭스를 구성한다.

정성적인 RBI 해석의 좀 더 상세한 절차를 밝기 전에, 사용자는 unit 사이의 위험성 비교를 위한 간단한 선별 절차를 수행할 수 있다.

#### 4.1. 정성적 RBI 결과

빈도 범주와 사고손실 범주는 Fig. 2에 보여진 5×5 위험도 매트릭스에서 각각의 unit의 위치를 정하기 위해 사용된다. 결과가 매트릭스에 위치 될 때, 그것들은 평가되는 unit의 위험도를 나타낸다.

이 위험성 매트릭스의 결과는 잠재적 범위를 정할 때와 가장 진단을 요하는 공정 unit의 비율과 위험성 감소를 위한 다른 방법들을 결정할 때 사용될 수 있다. 또 그것은 완전한 정량적 평가가 필요한지 아닌지를 결정할 수 있다. Fig. 2에 나타낸 음영은 잠재적 위험성의 정도를 결정한다<sup>4)</sup>.

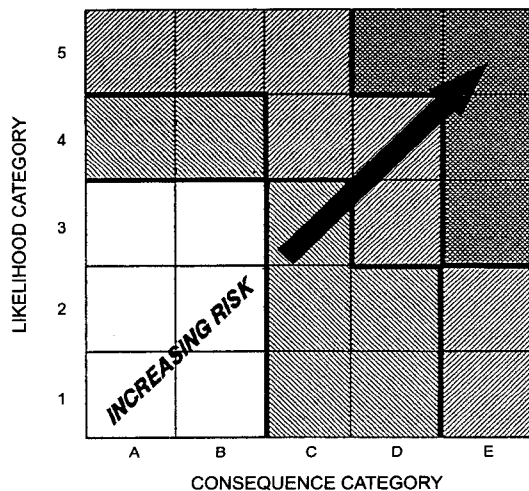


Fig. 2. Qualitative risk matrix

빈도와 사고손실 범주의 위치된 값이 매트릭스의 오른쪽 위로 이동할 때, 위험성이 증가됨이 분명하다.

#### 5. 정량적 RBI 기법

압력용기의 파손과 위험 물질의 순차적인 방출은 많은 피해를 입힐 수 있다. RBI 프로그램은 네 가지 기본 위험성으로 이러한 영향들을 고려해 왔다.

- 화재는 열 복사와 과압 두 가지 방법으로 피해를 입힐 수 있다. 열 복사 효과의 피해 대부분은 닫혀진 범위에서 일어나는 경향이 있으나, 과압 효과는 폭발 중심으로부터 가까운 거리일수록 더 큰 피해를 가져온다.

- RBI에서 독성 누출은 인간에게 영향을 줄 때에만 쓰인다. 장기적인 것과는 달리, 단기적인 누출만이 고려된다. 이러한 방출들은 화재에 의한 피해보다 더 먼 거리까지 영향을 끼친다. 가연성 누출과는 달리, 독성 방출은 위험한 사고를 일으키는 부가적인 사고가 일어나지 않는다.(예, 가연성 물질의 경우 : 연소)

- 환경적 위험은 공장에서 전체 위험성에서 중요한 요소이다. RBI 프로그램은 적은 양의 방출에 따라 장기적인 위험성보다는 단기적인 환경적 위험에 초점을 둔다. 환경적 피해는 많은 물질의 방출과 함께 일어난다. 그러나, 영향력이 큰 환경적 위험은 많은 양의 액체 탄화수소의 방출로 공장의 경계 바깥쪽에서 일어난다.

- 조업중단은 종종 장치 비용과 환경적 피해를 초과할 수 있다. 그러므로, RBI 프로그램에서 고려되어야 한다. 가연성 피해의 평가에서 고려되는 장비 대체 비용은 장시간 동안의 중요 unit의 손실과 비교해 사소한 것일 수 있다.

정량적인 RBI 우선순위화의 순서도가 Fig. 4에 나와 있다. 그 시작은 공정, 장치 그리고 RBI D/B로부터 공정 장치나 혹은 다른 정보들을 얻어내는 것이다. 그 뒤, 누출이 어떻게 일어나는가, 그리고 그것들이 위험한 사고로 어떻게 진행되는가를 보여주는 다양한 시나리오들이 전개되어진다.

정량적 RBI 계산에서 누출 시나리오의 정의에 사용되는 4가지 인자중 하나는 장치에서의 구멍의 크기이다. 누출 크기와 시나리오는 일 대 일 대응이기 때문에, 이 용어들은 종종 서로 교환되어 사용된다.

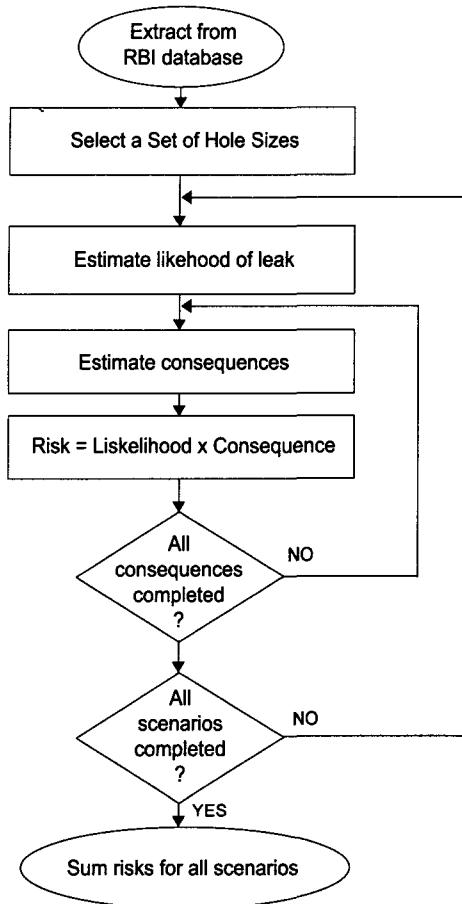


Fig. 3. Overview of quantitative RBI approach

위험성 계산은 네 가지 위험 범주 모두에 각각의 시나리오가 수행되어진다. 그리고 나서, 각각의 장치의 위험성이 위의 시나리오 계산에 따른 각각의 위험 요소 합계에 의해 이루어진다<sup>4)</sup>.

### 5.1. 정량적 RBI의 위험성 계산

Consequence의 결과값과 파손 가능성으로 주어진 위험성에 대한 RBI 정의는 수학적 측면에서 다음과 같다.

$$Risk_s = C_s \cdot F_s$$

S = 시나리오

C<sub>s</sub> = consequence(피해지역 ft<sup>2</sup> 혹은 손실 \$)

F<sub>s</sub> = 파손 빈도

각각의 장치에서, 위험성은 각 장치의 모든 시

나리오에서의 위험성의 합계이다. 위험성의 단위는 고려되는 피해산정결과에 의존한다. RBI 해석에서, 화재 또는 독성 피해산정결과에는 연간 ft<sup>2</sup>/year, 환경 또는 사업중단에는 연간 비용으로 표현된다<sup>2)</sup>.

장치의 위험성은

$$Riskitem = \sum_s Risk_s$$

Risk<sub>s</sub> = 각 시나리오의 위험성(ft<sup>2</sup> or \$ per year)

Riskitem = 장치의 위험성 (ft<sup>2</sup> or \$ per year)

Risk 계산에 대한 하나의 예가 아래에 나와 있다.

Scenario	Likelihood	Consequence	Risk
	Frequency (per year)	Equipment Damage	Equipment Damage
1/4 inch leak	6.9 × 10 <sup>-6</sup>	540 ft <sup>2</sup>	0.0037 ft <sup>2</sup> /year
1 inch leak	1.7 × 10 <sup>-5</sup>	7500 ft <sup>2</sup>	0.1275 ft <sup>2</sup> /year
4 inch leak	1.7 × 10 <sup>-6</sup>	17500 ft <sup>2</sup>	0.0289 ft <sup>2</sup> /year
Rupture	1.0 × 10 <sup>-6</sup>	130000 ft <sup>2</sup>	0.13 ft <sup>2</sup> /year
Total Risk of Equipment Damage for Item - 0.29 ft <sup>2</sup>			

빈도와 피해산정 계산을 수행한 결과가 위와 같다고 할 때 각 위험성을 분석해보면 많은 유용한 결과를 얻을 수 있다.

## 6. Inspection 프로그램

RBI 관점에서 보면 inspection 프로그램이란 각 장치들에 대한 충분한 자료를 수집하여 손상의 속도를 예측하고 이를 사용하여 각 장치들이 언제 재검사를 받아야하며 또한 언제 수리나 교체를 해야할지를 결정하는 것이 그 목적이라 할 수 있다.

위험성에 기초한 접근이 중요한 이유는 목표로 하는 위험도에 도달하는데 필요한 적절한 진단의 수준과 방법을 제시하여 줄 수 있기 때문이다. 또한 이러한 방법을 사용하면 여러 가지 저효율의 검사를 수행할 지 혹은 한두가지 효율적인 방법을 사용할 것인지 아니면 한번의 전면적인 검사를 수행할 지를 결정할 수 있다.

특히 이 장에서 주요하게 다루는 내용은 아래의 2가지이다.

① 진단 프로그램 구성

손상을 탐지하기 위하여 어떤 진단 기법을 사용해야 하는지를 결정한다.

② 진단을 통하여 위험성 완화

진단 프로그램을 사용하여 어떤 방법으로 위험성을 줄이고 진단을 최적화 할 지를 결정한다.

**6.1. Inspection 프로그램의 구성**

Inspection 프로그램의 목적은 장치의 파손이 발생하기 전에 손상 상황을 찾아내는데 필요한 행동들을 정의하고 수행하는데 있다. inspection 프로그램은 아래와 같은 질문의 답을 찾아내는 행위라고 할 수 있다.

- 어떤 종류의 손상을 조사할 것인가?
- 어디를 조사할 것인가?
- 어떤 방법으로(어떤 inspection 기법을 사용 하여) 조사할 것인가?
- 언제(얼마나 자주) 조사할 것인가?

이러한 질문들에 답을 하기 위해서는 장치의 설계 및 제조 자료, 장치가 노출되어 있는 공정 상태, 그리고 장치이력과 같은 많은 종류의 자료가 필요하다. 대부분의 손상 메카니즘을 밝혀내기 위해서는 아래와 같은 자료가 필요하다.

- 설계 및 제조 자료
  - 장치 종류와 기능, 제조 재료, 열처리 자료, 두께
- 공정 자료
  - 온도, 압력, 화학물질, 질량 유속
- 장치 이력
  - 기존의 진단 자료, 손상 분석 자료, 유지보수 이력

**6.2. Inspection 프로그램의 최적화**

Inspection 최적화는 어떤 장치가 집중적인 검사를 받아야 하고 어떤 장치가 적은 검사 혹은 검사를 안 받아도 될지를 결정하는 cost-benefit 분석을 통하여 결정된다. 만약 어떤 장치가 높은 수준의 검사활동이 필요하다면 상대적으로 낮은 수준의 검사활동이 필요한 장치에 사용될 비용과 노력을 높은 수준의 검사활동이 필요한 장치 쪽으로 돌릴 수 있다.

검사 최적화는 파손의 위험성을 낮추고 비용을 줄이기 위해서 검사에 사용되는 자원을 효율

적으로 사용하는 방법이다. 다시 말하면 손상 허용치나 허용 가능한 파손확률을 만족시키면서 비용을 효율적으로 사용하는 것이 검사최적화의 핵심이다.

아래와 같이 비용이 최적화된 검사계획을 수행하기 위한 2개의 접근 방식이 존재한다.

1) 비용이 최적화된 검사계획은 한계 파손확률 값에 대한 비용 최적 목표 값을 정함으로써 얻어질 수 있다. 여기서 비용 최적 목표값은 검사에 필요한 검사비용, 교체비용, 예상되는 위험비용 등 모든 비용에 관계되는 내용에 의해 정해지게 된다. 이렇게 정해진 목표값에 따라서 특정한 검사 성능에 관련된 검사 주기가 정해지게 된다.

2) 좀더 복잡한 방법으로는 현재의 잔여수명동안의 총 비용 합(유지보수 비용, 검사 비용, 예상교체 비용, 예상 위험비용)을 최저로 하는 방법이다. 이러한 비용 합은 모든 현실적인 검사나 교체 프로그램, 그리고 여러 종류의 검사주기, 검사 성능, 검사범위 및 결함이 있는 부위의 교체 정책에 영향을 받는다. 이 방법은 각 회사의 교체정책이 미래의 위험 비용을 변화시키기 때문에 매우 복잡하다.

목표된 위험도에 도달하기 위해서 여러 가지 방법을 적용할 수 있다. 예를 들면 간단한 외부 두께 검사 등을 자주 할 수 있고, 아니면 세부적인 내부 검사를 한번만 할 수도 있다. 하지만 우리의 목표는 같은 효과를 얻으면서도 총 비용을 낮추는데 있다. 아래와 같이 최적화를 하는데 필요한 지점을 찾을 수 있다.

• Damage factor는 보통 진단 활동을 통하여 1에 가깝게 유지할 수 있다. 10을 넘는 값은 피해야 한다.

• 보통 위험도에 의한 진단을 수행하지 않은 경우에 발생할 수 있는 damage factor가 10이 넘는 것들이 우선적으로 평가되어야 한다. 이러한 경우에는 여러 장치들 중에서 위험도가 높은 장치들이 우선적으로 평가되어야 한다.

• 여러번 검사를 수행하고 또한 낮은 손상 속도를 가지는 장치들은 필요없는 검사가 수행될 수 있다. 이 경우 위험도에 영향을 미치는 정도를 고려하면서 진단 활동이나 빈도를 낮추어 줄 수 있다. 이 경우 가장 위험도가 낮은 장치부터 우선적으로 고려되어야 한다.

• 손상속도를 결정하는데 불확실성이 큰 장치들은 충분한 자료를 얻을 때까지는 위험도를 낮게 하

기 위하여 자주 검사를 하거나 정밀 검사를 수행하여야 한다.

• 부식이나 다른 손상에 의하여 수명에 근접한 장치들은 장치의 손상 한계에 도달하지 않았음을 확인하기 위하여 진단 활동을 증가시켜야 한다. 잔여수명이 소모된 다음에는 진단 활동을 증가시킨다 할지라도 **damage factor**가 낮아지지 않는다.

• 장치의 의도된 잔여수명의 적어도 반 이상의 기간동안을 고려하여 진단을 계획하여야 한다. 만약 충분하지 않은 진단이 수행되면 잔여수명의 후반부에는 **damage factor**가 증가하는 경향이 있다.

아래의 Table 1에서 inspection 프로그램 평가 방법을 요약해 보았다.

Table 1. Inspection program evaluation for risk reduction and optimization

1단계	위험도 순위화	현재 시스템의 위험도 순위화를 수행한다.
2단계	위험성 감소	높은 위험도를 가지는 장치중에서 높은 파손 빈도를 가지는 장치를 선택한다. 위험도를 낮추기 위한 inspection 계획을 평가하고 선택된 계획을 수행한다.
3단계	Inspection 최적화	위험도가 낮은 장치중에서 낮은 파손 빈도를 가지는 장치를 선택한다. 낮은 위험도를 유지하는데 필요한 최적의 inspection 계획을 찾아내서 수행한다.

### 7. 사례 연구

RBI기법을 적용하기 위하여 높은 온도의 탄화수소를 사용하는 HDU 공정에 대하여 사례연구를 수행하여 보았다.

특히 HDU에는 몇 가지의 높은 온도에 의한 손상 메카니즘이 존재한다. HDU에서의 조업온도가 500° F 이상이다.

이 예제에서 고려한 손상 메카니즘은 아래와 같다.

- High temperature hydrogen attack
  - High temperature sulfidation
  - General thinning, 반응기에서의 localized thinning
- 기본적인 PFD는 아래와 같다.

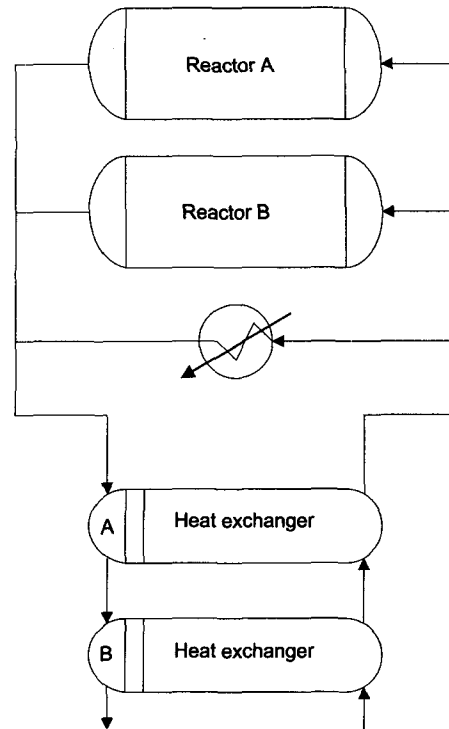


Fig. 4. PFD of HDU process

또한 이 공정에서 RBI기법을 적용하여 평가한 장치들은 아래와 같다.

Table 2. Equipment type and basic data of HDU process

Type	Description	Material	Pressure (psig)	Temp (°F)
파이프	feed파이프 A	5Cr-1/2Mo	640	400
파이프	feed파이프 B	5Cr-1/2Mo	630	490
파이프	feed파이프 C	9Cr-1Mo	605	590
파이프	effluent 파이프 D	9Cr-1Mo	590	610
파이프	effluent 파이프 E	5Cr-1/2Mo	580	540
파이프	effluent 파이프 F	5Cr-1/2Mo	570	450
IIx-Shell	열교환기 A	5Cr-1/2Mo	645	500
IIx-Shell	열교환기 B	5Cr-1/2Mo	635	575
저장용기	반응기 A	C-1/2 Mo 405 SS lined	595	600
저장용기	반응기 B	C-1/2 Mo 405 SS lined	595	600

### 7.1. 정성적 평가

HDU 공정의 몇 가지 장치들의 정성적 평가의 결과를 아래의 Table 3과 같이 나열하였다.

Table 3. Qualitative assessment result data of HDU process

Equipment	Frequency Category	Flammable Consequence Category	Toxic Consequence Category
feed 파이프 A	1	A	B
feed 파이프 B	1	A	B
feed 파이프 C	1	A	B
effluent 파이프 D	1	A	B
effluent 파이프 E	1	A	B
effluent 파이프 F	1	A	B
열교환기 A	1	B	C
열교환기 B	1	C	C
반응기 A	1	C	D
반응기 B	1	C	D

그리고, 이를 위험성 매트릭스에 표현을 해보면 반응기 A, B가 가장 위험도가 높은 것을 알 수 있다.

### 7.2. 정량적 평가

정성적 평가를 통해서 가장 높은 위험도를 가지는 반응기 A, B와 열교환기 B를 정량적 평가 방법을 수행한 결과 아래와 같이 볼 수 있다.

Table 4. Quantitative assessment result of HDU process

Equipment	반응기 A, B	Effluent Cooler
Risk rank	1 / 10	3 / 10
Equipment Risk	277 ft <sup>2</sup> /year	223 ft <sup>2</sup> /year
Consequence	16,821 ft <sup>2</sup>	16,808 ft <sup>2</sup>
Frequency	1.65 e <sup>-2</sup> /year	1.35 e <sup>-2</sup> /year

### 7.3. 평가 결과

화학공장에서 많이 쓰이는 HDU공정에 대한 간단한 사례연구를 수행해 보았다. 일단 RBI를 수행하는데 쓰이는 unit를 정의하고 그 각 unit에 대한 자료를 정리하고 또한 각 unit를 정성적 RBI를 수행하여 각각의 위험도를 얻을 수 있었다. 이를 통하여

어떤 unit의 위험성에 관심을 가져야 할 지를 알 수 있었다. 또한 이렇게 얻어진 위험도를 위험도 매트릭스를 사용하여 순위화하여 어떤 unit에 inspection 프로그램이 집중되어야 하는지를 알 수 있었다. 특히 정성적 RBI를 수행하여 나온 결과를 바탕으로 정확한 위험도를 알기위해 정량적 RBI를 수행하여 보았고 이를 통하여 inspection 프로그램의 최적화를 위한 자료를 얻을 수 있었다.

특히 위험성 평가 방법과 비교를 해 보면 기존의 위험성 평가에서는 가상 사고 시나리오를 수립하는데 많은 노력이 필요하였지만 RBI 기법은 이러한 작업이 크게 간소화 되어있다. 또한 정량적 위험성 평가에서 사용되는 모델식을 사용하여 정량적 RBI를 적용하는데 좀더 정밀한 계산을 수행할 수 있고 게다가 정량적 RBI 기법을 통하여 얻을 수 있는 파손 빈도값을 위험성 평가를 수행하기 위한 기본자료로 사용할 수도 있으므로 RBI와 위험성 평가는 상호 보완적인 관계라고 말할 수 있다.

## 8. 결론

본 연구에서 국내·외 문헌연구, 사례조사 및 벤치마킹을 통하여 RBI방법을 제시하고 또한 이의 적용사례를 제시하여 RBI방법을 통한 안전관리의 효율성 증대 및 비용절감 등의 효과를 얻을 수 있었다. 처음에는 기본적인 위험성 평가에 관한 내용을 설명하면서 위험성에 근거한 관리활동을 이해하는데 도움을 주고자 하였고, 그 다음으로는 RBI방법론에 관한 개괄적인 내용을 설명하였다. 여기서 장치들의 위험도를 모델링을 사용한 계산이 아닌 기본적인 질문을 통하여 산정 할 수 있는 정성적인 RBI방법에 대해 알아보고 그후에 정량적인 RBI방법에 관하여 소개하였다. 특히 정량적인 RBI방법에서는 각 피해산정결과와 빈도를 얻을 수 있는 여러 모델링과 방법론에 관하여 정리하였다. 마지막으로 기존의 inspection 프로그램을 평가하고 새로운 inspection 프로그램을 계획하는데 필요한 여러 사항들을 알아보았다.

RBI를 수행함으로써 얻을 수 있는 이익에 관하여 알아보면 아래와 같다.

- 파손이 발생할 때 높은 위험도를 가질 수 있는 장치를 알 수 있다.
- 진단이나 관리에 사용되는 자원을 효율적으로 이용할 수 있다.

- 낮은 위험도를 가지는 장치에 사용되는 자원을 높은 위험도를 가지는 장치로 전환할 수 있는 근거자료를 얻을 수 있다.
  - 현재 사용되는 진단 프로그램과 관련된 위험도를 측정하고 이해할 수 있다.
  - 진단 프로그램의 변경에 따른 결과를 계산된 위험도의 차이를 사용하여 측정할 수 있다.
  - 파손확률에 근거한 진단 프로그램을 위험도에 근거한 진단으로 변경할 수 있다.
  - 전체적인 장치의 수명연장이 가능하고 보다 적은 사고의 발생가능성을 가질 수 있으며 불필요한 진단에 드는 비용을 감소시킬 수 있다. 또한 각 장치에 대한 신뢰도를 높일 수 있다.
- 특히 위험성 평가 방법과 비교를 해 보면 기존의 위험성 평가에서는 가상 사고 시나리오를 수립하는데 많은 노력이 필요하였지만 RBI 기법은 이러한 작업이 크게 간소화 되어있다. 또한 정량적 위험성 평가에서 사용되는 모델링을 사용하여 정량적 RBI를 적용하는데 좀더 정밀한 계산을 수행할 수 있고, 게다가 정량적 RBI 기법을 통하여 얻을 수 있는 파손 빈도값을 위험성 평가를 수행하기 위한 기본자료로 사용할 수도 있으므로 RBI와 위험성 평가는 상호 보완적인 관계라고 말할 수 있다. 그러므로 이러한 위험성 평가와 RBI기법을 토대로 하여 RBM을 적용한다면 화학공장의 안전성을 향상시키는데 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 1) AIChE / CCPS, Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1985.
- 2) AIChE / CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1985.
- 3) API-570, Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems, Washington DC, American Petroleum Institute, 1993.
- 4) API-580, Risk-based Inspection, Washington DC, American Petroleum Institute, 1999.
- 5) ASME CRTD-Vol.20, Risk-Based Inspection, New York, N.Y. 10017, American Society of Mechanical Engineers.
- 6) Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Butterworths, London, 1980
- 7) Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals Standard, Title 29, Code of Federal Regulations(CFR) Part 1910.119(FR57(36);6356-6417, Feb 24, 1992.)