



## 석유화학공정에서 재정적 위험도에 의한 위험기반검사의 적용

이중희\* · 최성규 · 이현창\*\* · 조지훈\*\*\* · \*김태옥

명지대학교 화학공학과 · 바텍안전이엔씨\* · 디엔브이 코리아\*\* · 한국산업안전보건공단\*\*\*  
(2009년 7월 24일 접수, 2009년 8월 27일 수정, 2009년 8월 27일 채택)

## Application of Risk-Based Inspection with Financial Risk for a Petrochemical Process

Joong Hee Lee\* · Sung Kyu Choi · Hern Chang Lee\*\* · Ji Hoon Jo\*\*\* · \*Tae Ok Kim

*Department of Chemical Engineering, Myongji University*

*Bartec Safety E&C\**

*Det Norske Veritas Industry Korea\*\**

*Korea Occupation Safety Healthy and Agency\*\*\**

*(Received 24. July. 2009, Revised 27. August. 2009, Accepted 27. August. 2009)*

### 요 약

냉각수, 수증기 등과 같은 유틸리티를 사용하는 설비에서는 장치손상지역에 의한 사고 피해크기(COF)가 0의 값을 나타내고, 이로 인해 위험도가 0으로 나타난다. 따라서 본 연구에서는 위험기반검사(RBI)에서 장치손상지역에 의한 COF로부터 위험도를 산출하는 방법을 개선하여 재정적 손실에 의한 COF로부터 위험도를 산출하는 RBI 절차를 개발하였다. 그리고 장치손상지역과 재정적 손실에 의한 위험도로부터 검사주기를 동시에 산정하는 RBI 프로그램(KS-RBI Ver 3.1)을 개발하여 석유화학공정에 적용하였다. 그 결과, 재정적 손실에 의한 COF로부터 산출한 위험도는 장치손상지역에 의한 COF로부터 산출한 위험도 결과와 거의 유사하였다. 그러나 유틸리티를 사용하거나 고가의 설비에서는 장치손상지역에 의한 경우보다 재정적 손실에 의한 COF로부터 설비의 위험도를 보다 정확하게 산출할 수 있었다.

**Abstract** - For the case of the facilities using utilities such as cooling water and steam, risk of the facilities is zero because the consequence of failure (COF) through equipment damage area is zero. Therefore, to improve the estimation method of the risk by COF through equipment damage area in the risk-based inspection (RBI), this study developed the procedures of RBI, in which the risk was estimated by COF through financial loss. And, the RBI program (KS-RBI Ver 3.1) was developed to establish inspection interval based on the risk of the facilities estimated by COF through equipment damage area and financial loss, simultaneously, and the developed RBI program was applied to a petrochemical process. As a result, risks of the facilities estimated by COF through financial loss were similar to risks by COF through the equipment damage area. But, for the case of the facilities using utilities or expensive facilities, the estimation method of the risk by COF through financial loss was more accurate than through equipment damage area.

**Key words** : risk-based inspection(RBI), risk, financial loss, damage area, KS-RBI, consequence of failure(COF)

\*주저자:kimto@mju.ac.kr

## I. 서론

위험기반검사(risk-based inspection, RBI)는 석유 화학, 정유, 가스, 화학산업 등에서 사용되고 있는 압력설비를 안전하고, 효율적으로 사용하기 위해 설비의 위험도(risk)를 기반으로 검사의 우선순위를 결정하고, 검사의 주기 제시 및 검사에 소요되는 자원을 관리하기 위한 검사기법이다. RBI는 미국석유협회(API)의 API-580,581 절차서[1,2] 등에 의해 제시되었으며, RBI에 관한 이론적 연구와 프로그램 개발 및 적용에 관한 연구는 최근 국내·외에서 활발하게 진행되고 있다[3-5]. 특히, 국내의 경우 현재 주기적 검사를 실시하고 있는 압력설비에 대해 RBI 기법을 적용 시에는 검사주기를 연장할 수 있도록 하는 법이 금년 1월부터 시행 중이거나[6] 입법화할 예정에 있다[7,8].

지금까지 개발·보급된 대부분의 RBI 프로그램은 위험도 산출에 필요한 사고 피해크기(consequence of failure, COF)를 설비에서 사용되는 화학물질에 의해 발생될 수 있는 가연성 피해범위와 독성 피해범위에 의해 결정하고 있다. 그러나 냉각수나 수증기와 같은 유틸리티는 가연성 또는 독성 물질이 아니기 때문에 화재 및 폭발로 인한 장치손상지역이나 독성물질의 누출로 인한 상해지역을 산출할 수 없다. 따라서 이들 유틸리티를 사용하는 설비에서는 장치손상지역과 독성피해지역이 0의 값을 나타내고, 이로 인해 위험도가 0으로 나타나는 모순점을 가지고 있다. 즉, 이들 유틸리티를 사용하는 설비에서는 사고발생시 설비의 손상비용뿐만 아니라 조업중단으로 인한 손실이 크기 때문에 비용손실 면에서 검사주기는 장치손상지역에 의해 산출한 주기보다 짧아야 한다. 또한 사업장에서는 가연성 또는 독성 물질의 누출과 화재·폭발의 영향도 중요하지만, 사고로 인한 재정적 손실을 고려하지 않을 수 없기 때문에 사고로 인한 재정적인 피해를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 더욱이 최근 선진국의 경우에는 장치손상지역과 재정적 손실을 동시에 고려하여 사용자가 이를 선택적으로 사용하는 방법을 사용하고 있는 추세이다.

본 연구에서는 장치손상지역과 재정적 손실을 동시에 고려하여 사업장 환경에 따라 선택적으로 사용할 수 있는 RBI 프로그램(KS-RBI Ver 3.1)을 개발하였다. 그리고 개발된 RBI 프로그램을 석유화학 공정에 적용하여 장치손상지역과 재정적 손실에 따른 화학설비의 위험도를 산출하고, 검사주기를 비교·분석하였다.

## II. 재정적 위험도

RBI에서는 Fig. 1에서와 같이 설비의 사고발생 가능성(likelihood of failure, LOF)과 사고 피해크기(COF)의 곱에 의해 결정되는 위험도에 근거하여 검사주기와 검사방법을 제시한다. 이때, LOF는 관리인자(management factor, MF)와 일반 고장률(generic failure frequency, GFF), 그리고 손상인자(damage factor, DF)에 의해 결정되고, 손상인자는 수명, 손상률, 유효검사에 의해 결정된다. 또한 COF는 장치손상지역 또는 설비보수비, 상해비, 사업중단 손실비 등과 같이 면적 또는 비용에 의해 결정된다.

일반적으로 장치손상지역에 의한 COF가 0인 경우 위험도도 최저값인 0을 나타낸다. 그러나 설비의 손상이나 교체 및 보수, 사업중단, 환경정화 등의 비용을 고려할 경우에는 재정적 손실에 의한 사고피해가 존재하기 때문에 설비의 위험도 등급이 높아지게 된다[1,2,9].

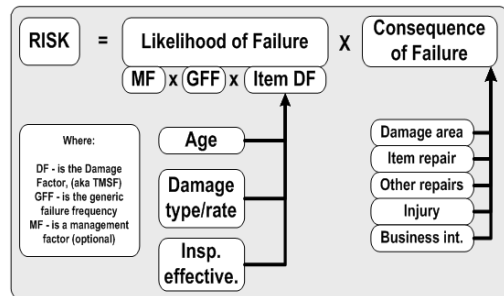


Fig. 1. Components in the calculation of the risk.

### 2.1. 설비손상비

증기 배관과 같은 경우에는 탄화수소를 사용하는 배관에 비해 큰 손상을 가져오지 않는 경우에도 손상비(damage cost)가 발생되기 때문에 위험도가 0이 되는 것은 현실적이지 못하다. 따라서 사고 피해크기와 상관없이 설비고장에 따른 비용을 평가하여야 한다. 이때, 설비손상비는 장치 및 설비의 손상에 의한 보수·교체비로 산출하며, 설비의 종류, 재질, 손상 정도 등에 따라 다르다.

### 2.2. 조업중단 손실비

설비의 고장과 관련된 운휴시간은 사고 피해크기에 기반을 두고 있으나, 사고 피해지역을 전혀 갖지 않는 고장이 발생하였을 경우에는 그와 관련된 비용이 0이다. 그러나 고장으로 인해 실제 사고 피

해지역이 있을 경우에는 피해설비를 교체하고, 보수하는데 따르는 조업중단 손실비(business interruption loss)를 고려하여야 한다. 이때, 조업중단 손실비는 API-581 절차에 따라 작성한 Fig. 2에서와 같이 설비의 교체 또는 보수능력, 사고 잠재성 평가, 생산손실 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

**2.3. 환경정화비**

사고로 인한 누출물질은 주위 환경을 오염시키므로, 이를 방지하기 위한 누출물질의 제거비용이 필요하며, 동시에 용기에 남아 있는 물질을 제거하

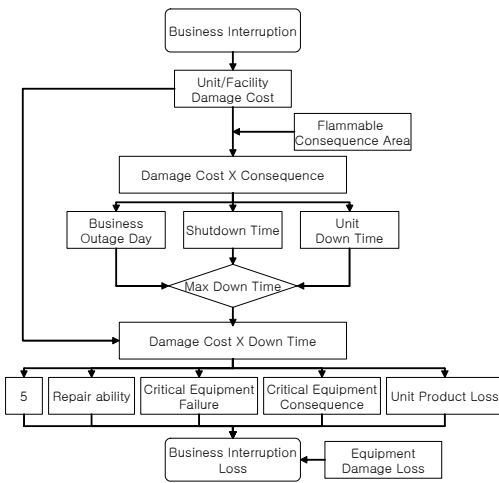


Fig. 2. Algorithm for calculation of business interruption loss.

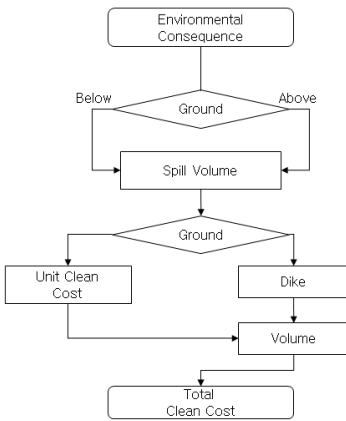


Fig. 3. Algorithm for calculation of total clean cost.

기 위한 비용도 고려되어야 한다. 환경정화비는 사업장 여건, 지상 또는 지하 누출, 방류독 여부에 따라 차이가 있으며, API-581 절차에 따라 작성한 환경정화비의 산출 알고리즘은 Fig. 3과 같다.

**III. 석유화학공정에서 RBI 적용**

**3.1. 대상공정**

석유화학공정에서 장치손상지역과 재정적 손실에 의한 위험도로부터 검사주기를 산정하는 RBI를 수행하기 위하여 전남 여수석유화학단지에서 D 화학공장의 H 공정을 대상공정으로 하였으며, H 공정의 PFD(process flow diagram)는 Fig. 4와 같다. 그림에서와 같이 PE 플랜트는 에틸렌 촉매 하에서 공중합체인 핵산과 함께 double-loop reactor에서 슬러리 상태로 중합시켜, HDPE 또는 LLDPE를 생산하는 공정이다.

**3.2. RBI 프로그램**

화학설비의 재정적 손실에 의한 위험도를 산출하여 검사주기 등의 검사계획을 수립할 수 있는 RBI 프로그램을 개발하였다. 개발된 KS-RBI Ver. 3.1 프로그램은 API-581 절차[2]를 바탕으로, 장치손상지역에 의해 COF를 산출하여 위험도와 검사주기를 산출하는 기존의 KS-RBI Ver. 3.0 프로그램 [10]에 재정적 손실에 의한 COF로부터 위험도를 산출하여 검사주기를 산정하는 절차를 추가하였다.

**3.3. 데이터 취득**

D 화학공장의 H 공정에 대해 개발된 KS-RBI Ver. 3.1 프로그램을 이용하여 RBI를 수행하기 위해 P&ID와 PFD를 기준으로 시스템화[11]를 수행하였다. 즉, 유체흐름을 구분하고, 고정설비를 중심으로 인벤토리 그룹을 설정하였으며, 설비에서 상(phase) 또는 조성 변화가 있는 경우에는 설비를 세분화 하였다. 또한 시스템화에 의해 설정한 인벤

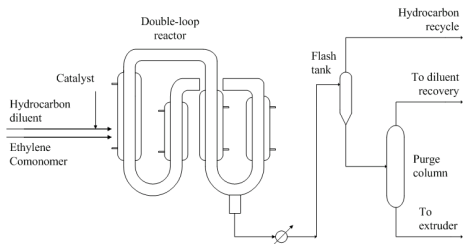


Fig. 4. Process flow diagram of H unit.

토리 그룹은 현재의 검출(detection), 차단(isolation) 및 완화(mitigation) 시스템에 대하여 등급을 부여하였다.

시스템화가 수행된 후 유체 및 설비에 대한 자료는 공정 설명서, P&ID, PFD, 배관사양, 배관목록, 설비 데이터 시트(data sheet), 검사 이력자료, 코팅 및 보온사양 등의 공정정보를 수집·분석하여 엑셀 시트에 입력하였다. 시스템화를 통해 입력된 유체 정보는 유체번호, 유체명 등을 포함한 22개 항목, 배관은 설비번호, 배관사양 등을 포함한 50개 항목, 그리고 압력용기는 설비번호, 설비형태 등을 포함한 49개 항목이었다. 특히, 배관의 최소두께는 배관스펙에 의해 결정되므로, 배관스펙을 구분하여 최소두께를 산출하였다.

이와 같은 방법으로 취득한 데이터를 RBI 엑셀 워크시트에 취합하였으며, 입력정보는 Table 1과 같다.

Table 1. Number of input data for RBI

Pipe	Pressure vessel	Inventory group	Stream number
74	35	15	11

### 3.4. RBI 수행

입력된 엑셀시트를 3.2절에서와 같이 장치손상지역과 재정적 손실을 동시에 산출할 수 있도록 개발된 RBI 프로그램(KS-RBI Ver 3.1)에서 불러와 DB로 저장한 후 개별 설비에 대한 위험도를 평가하였다. 그리고 설비에 대한 위험성을 평가한 후 검사주기 등을 산정하였다.

## IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 사용자의 선택에 의해 COF 등급을 장치손상지역과 재정적 손실을 선택할 수 있도록 개발된 KS-RBI Ver. 3.1 프로그램을 사용하여 D 석유화학 사업장의 H공정에서 RBI를 수행하고, 장치손상지역과 재정적 손실에 대해 산출된 위험도 변화와 검사주기 변화를 비교·해석하였다.

### 4.1. 위험도 행렬

Fig. 5는 장치손상지역(왼쪽 그림 (1))과 재정적 손실(오른쪽 그림 (2))에 의한 COF로부터 산출한 위험도 행렬을 비교한 것이다. 즉, Fig. 5의 a,c,e는 각각 장치손상지역의 경우 배관과 용기를 합한 전체 설비, 배관, 용기의 위험도 행렬이고, Fig. 5의

b,d,f는 각각 재정적 손실의 경우 배관과 용기를 합한 전체 설비, 배관, 용기의 위험도 행렬이다. 이때, COF 등급은 A등급이 가장 낮고, E등급이 가장 높으며, LOF 등급은 1등급이 가장 낮고, 5등급이 가장 높다. 또한 COF를 장치손상지역으로 산출한 경우의 위험도는 동일한 공정에서 상용프로그램인 DNV사의 ORBIT 프로그램을 사용하여 얻은 결과와 비교하여 유사한 결과를 얻어 신뢰성을 확보할 수 있었다[12].

Fig. 5의 (1),(2)를 비교하면, COF의 산출방법에 따라 다소 차이가 있다. 즉, 재정적 손실에 의한 COF 등급은 장치손상지역에 의한 COF 등급과 동일하거나 또는 다소 높은 등급을 나타내고 있다. 특히, Fig. 5a에서 COF 등급이 A등급인 경우는 29개 설비(배관 16개, 압력용기 13개)이었고, 이중에서 27개 설비(배관 16개, 압력용기 11개)는 냉각수(cooling water) 또는 수증기(steam)를 사용하고 있다. 즉, 유틸리티를 사용하는 설비에서 장치손상지역에 의한 COF 등급이 A등급인 경우 배관에서는 Fig. 5c,d에서와 같이 재정적 손실에 의한 COF 등급이 B~D등급으로 변경(B등급 4개, D등급 12개)되었고, 용기에서는 Fig. 5e,f에서와 같이 재정적 손실에 의한 COF 등급이 A~E등급으로 변경(A등급 4개, B등급 2개, C등급 3개, D등급 1개, E등급 3개)되었다.

이와 같이 재정적 손실에 의한 COF 등급이 장치손상지역의 경우보다 높은 COF 등급을 갖는 것은 유틸리티를 사용하는 경우에 화재, 폭발 등의 사고가 발생되지 않을 뿐만 아니라 파열 등의 사고가 발생하는 경우에도 사고 피해지역이 없거나 매우 적게 나타나지만, 사고피해가 적은 경우에도 설비손상비, 사업중단 손실비, 환경정화비 등의 재정적 손실이 발생되기 때문이다. 또한 장치손상지역에 의한 COF가 A등급인 경우 유틸리티를 사용하는 설비를 제외한 2개의 고정설비는 off-gas를 사용하며, 누출 후 증발이 잘 되어 환경정화비가 없기 때문에 재정적 손실에 의한 COF 등급도 A등급이었으며, 또한 직경이 작고, 열교환기 내부에 존재하여 장치피해가 크지 않는 것으로 평가되었다. 그러나 유틸리티를 사용하지 않은 가연성 화학물질을 사용하는 설비에서는 장치손상지역과 재정적 손실에 의한 COF 등급이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

따라서 가연성 또는 독성 물질을 사용하는 경우에는 장치손상지역과 재정적 손실을 동시에 고려하여 COF 등급이 큰 것을 기준으로 설비의 COF 등급을 설정하여 위험도를 해석하는 것이 바람직

석유화학공정에서 재정적 위험도에 의한 위험기반검사의 적용

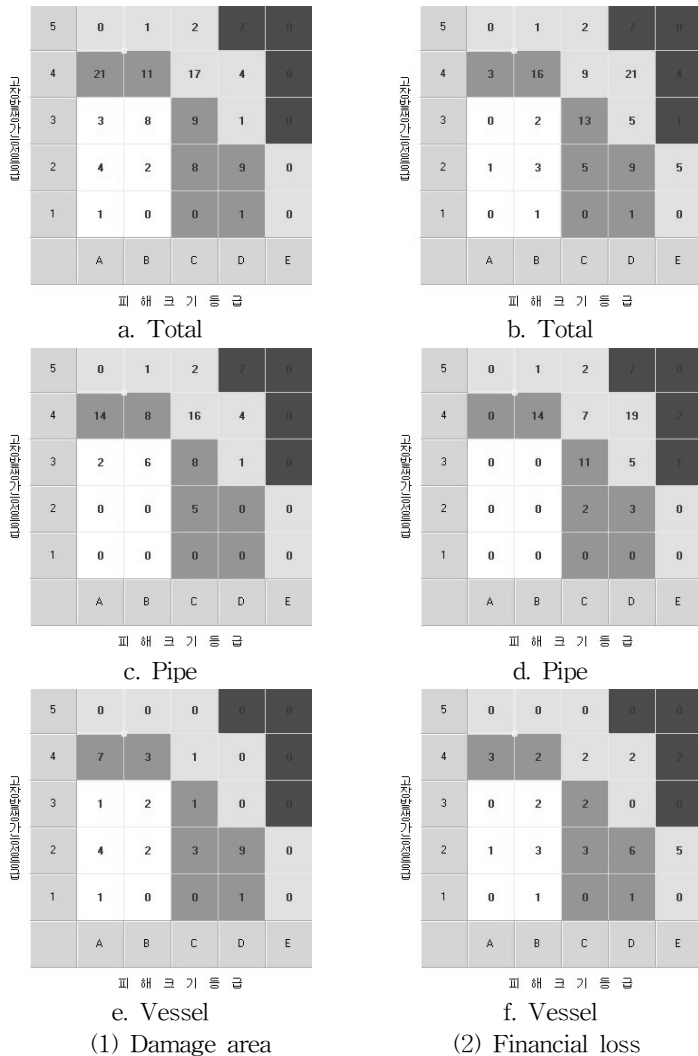


Fig. 5. Risk matrixes of equipments calculated by damage area and financial loss.

하고 판단된다. 그러나 유틸리티를 사용하는 설비에서는 장치손상지역에 의한 위험도 등급이 매우 낮지만 재정적 손실에 의한 COF 등급은 보다 높을 수도 있기 때문에 재정적 손실에 의한 위험도를 산출하여 검사주기를 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.2. 위험도 분포

RBI의 주목적은 설비의 위험도를 산출하여 검사주기를 산정하는 것이지만, 실제적으로 보다 큰 목적은 고위험도 설비의 위험도를 낮추어 공정의

위험도를 낮추는데 있으며, 설비의 위험도 등급을 낮추기 위해서는 우선적으로 적용되어야 할 고위험도 설비를 찾아야 한다.

Fig. 6은 Fig. 5의 위험도 행렬을 작성하기 위하여 산출한 장치손상지역과 재정적 손실에 의한 위험도 분포를 나타낸 것이다. 이때, 그림에서 세로축은 손상메커니즘(damage mechanism)에 의한 기술중속계수(technical module subfactor, TMSF)를 나타내고, 가로축은 장치손상지역의 경우는 가중 평균 피해면적(ft<sup>2</sup>)을, 그리고 재정적 손실의 경우는 가중 평균 재정손실(\$)을 나타낸다. 그리고 점

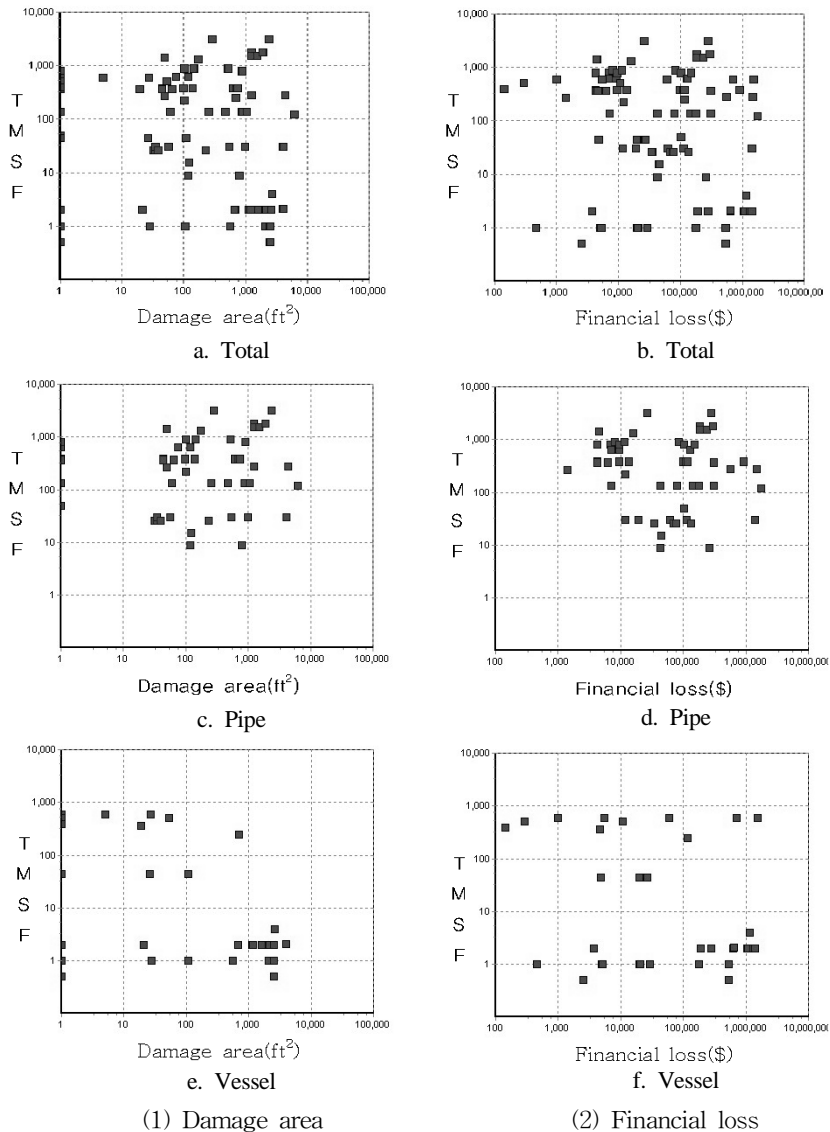


Fig. 6. Plots of TMSF and damage area or financial loss.

선은 LOF 등급과 COF 등급의 경계값을 나타낸다.

Fig. 6a,c,e에서 COF 값이 LOF 축 위에 존재하는 설비는 유틸리티를 사용하는 설비들로, 이들 설비들은 Fig. 6b,d,f에서와 같이 COF 값이 오른쪽으로 이동하였다. 즉, 유틸리티를 사용하는 설비에서는 COF의 산출방법에 따라 COF 등급이 변경되었을 뿐만 아니라 가연성 물질을 사용하는 설비에서도 장

치손상지역과 재정적 손실에 의한 COF 등급이 동일한 경우에도 COF 값은 증가 또는 감소하고 있다.

따라서 동일한 위험도 등급을 갖는 경우에도 위험도 등급이 변화하는 경계에 존재하는 설비들은 적은 노력으로도 위험도를 감소시켜 비용절감 효과를 얻을 수 있다. 즉, 적절한 검사주기와 방법에 의해 LOF를 감소시키거나 검출, 차단 및 완화

시스템의 설치 등으로 COF를 감소시키는 경우에는 위험도 등급이 감소되고, 이로 인해 검사주기를 연장할 수 있다. 즉, Fig. 6에서 고 위험도이고, 중상 위험도의 경계근처에 있는 설비(배관 3개)를 중상 위험도로 감소시키는 경우에는 검사주기를 1년에서 2년으로 연장할 수 있으며, 중상-중 위험도의 경계근처에 있는 설비(배관 13개)를 중 위험도로 감소시키는 경우에는 검사주기를 2년 또는 3년에서 4년 또는 5년으로 연장할 수 있다. 또한 중-저 위험도의 경계근처에 있는 설비(배관 3개, 용기 2개)를 저 위험도로 감소시키는 경우에는 검사주기를 4~6년에서 8년으로 연장할 수 있다.

이와 같이 설비의 위험도 분포를 사용하여 위험도 등급의 경계에 존재하는 설비를 찾아서 위험도 경감방안을 마련하여 위험도 등급을 한 단계 감소 시킴으로써 적은 비용으로 효과를 극대화 할 수 있을 것이다.

### 4.3. 위험도 등급

4.1절에서와 같이 COF의 산출방법 즉, 장치손상 지역 또는 재정적 손실에 의한 위험도는 LOF 등급이 동일한 경우에도 COF 등급이 동일하거나 다소 차이가 있으므로, 위험도 등급도 차이가 있을 수 있다.

Table 2는 장치손상지역과 재정적 손실에 의해

산출한 위험도 등급별 설비의 개수를 나타낸 것이다. 이때, 장치손상지역에 의한 고(high) 및 중상(high-medium) 위험도 등급의 설비 수는 각각 7, 25개이었으나, 재정적 손실에 의한 고 및 중상 위험도 등급의 설비 수는 각각 12, 43개이었다. 이것은 4.1절에서와 같이 주로 유틸리티를 사용하는 설비에서 장치손상지역에 의한 COF는 A 등급이었으나, 재정적 손실의 경우에는 COF 등급이 높아지고, 이로 인해 위험도 등급이 높게 나타나기 때문이다.

### 4.4. 검사주기

위험도 등급을 기준으로 산정한 검사주기는 Table 3에서와 같이 유틸리티를 사용한 설비에서는 재정적 손실의 경우가 장치손상지역의 경우보다 위험도 증가로 다소 짧아짐을 알 수 있다. 그러나 가연성 물질을 사용하는 설비에서는 위험도 등급의 차이가 거의 나타나지 않아서 검사주기는 COF 산출방법에 따라 크게 차이가 나지 않았다. 이때, 검사주기는 위험도 등급을 기준으로 산정하지만 위험도 행렬에서 COF 등급과 LOF 등급을 고려하여 결정한다. 즉, 동일한 위험도 등급에서도 COF와 LOF가 낮은 경우에는 검사주기를 1~2년 연장한다.

Table 2. Number of equipments for risk category

Risk level	Damage area			Financial loss		
	Total	Vessel	Pipe	Total	Vessel	Pipe
High	7	0	7	12	2	10
High-medium	25	1	24	43	9	34
Medium	59	24	35	47	17	30
Low	18	10	8	7	7	0
Total	109	35	74	109	35	74

Table 3. Inspection interval for damage area and financial loss

Equipment	COF	Inspection interval						
		1 yr	2 yr	3 yr	4 yr	5 yr	6 yr	8 yr
Pipe	Damage area	7	7	17	16	19	8	0
	Financial loss	9	23	12	28	2	0	0
Vessel	Damage area	0	0	1	13	11	3	7
	Financial loss	2	2	7	10	7	2	5

## V. 결론

API-581 절차를 바탕으로 재정적 손실에 의한 사고 피해크기(COF)로부터 위험도를 산출하는 알고리즘을 작성하고, 기존의 장치손상지역에 의한 COF로부터 위험도를 산출하는 방법을 개선하여 재정적 손실에 의한 위험도를 동시에 산출하는 위험기반검사 프로그램(KS-RBI Ver 3.1)을 개발하여 석유화학공정에 적용하였다. 그 결과, 재정적 손실에 의한 COF로부터 산출한 위험도와 위험도 분포는 기존의 장치손상지역에 의한 COF로부터 산출한 결과와 거의 유사하였으나 재정적 손실에 의한 위험도로부터 산정한 검사주기는 약 1~2년이 짧아졌다. 특히, 냉각수, 수증기 등과 같은 유틸리티를 사용하는 설비에서는 장치손상지역에 의한 경우보다 재정적 손실에 의한 COF로부터 설비의 위험도를 보다 정확하게 산출할 수 있었다.

따라서 재정적 손실에 의한 위험도는 장치손상지역을 기준으로 하는 경우보다 현실적인 면에서 타당성이 높기 때문에 향후 재정적 손실을 기준으로 위험기반검사를 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

- [1] API, Based Resource Document of Risk Based Inspection : API-580, American Petroleum Institute, New York, (2001)
- [2] API, RBI Basic Resource Document : API-581, American Petroleum Institute, (2000)
- [3] Chang, M. K., Chang, R. R., Shu, C. M., and Lin, K. N., "Application of Risk Based Inspection in Refinery and Processing Piping", *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, **18**, 397-402, (2005)
- [4] Alvarado, G., Kaley, L., and Valbuena, R. R., Risk Based Inspection Demonstrating Value, Det Norske Veritas, pp.1-8, (2003)
- [5] Tischuk, Tischuk International Licensee Training for KOSHA, Technical Training Manual, January, (2001)
- [6] 고압가스안전관리기준통합고시, 지식경제부 고시 제2008-207호 (2008.12.24 개정)
- [7] 고압가스안전관리법 시행규칙 별표 22, (2006. 2.26 개정)
- [8] 산업안전보건법 49조의2 ⑦항(공정안전보고서의 제출 등), (2005.3.31 개정)
- [9] CRTD/ASME, Risk-Based Inspection - Development of Guidelines, American Society of Mechanical Engineers, CRTD-20-1, New York, (1991)
- [10] 이현창, 조지훈, 김규정, 권혁면, 김태욱, "정량적 원인분석이 가능한 위험기반검사(KS-RBI)에 의한 화학설비의 위험도 경감방안", *한국가스학회지*, 12(2), 110-117, (2008)
- [11] 이현창, 신평식, 임대식, 김태욱, "한국형 위험기반검사(K-RBI)의 절차 개발", *한국안전학회지*, 21(3), 31-37, (2006)
- [12] 한국산업안전공단, KOSHA-RBI 프로그램의 기능개선, 최종보고서, (2007)