

재정적 위험도에 의한 위험기반검사의 절차 개발 및 적용

이헌창* · 조지훈** · † 김태옥

한국안전이엔씨* · 한국산업안전공단** · 명지대학교 화학공학과

Development of Procedures and Application of Risk Based-Inspection by Financial Risk

Hern-Chang Lee* · Ji-Hoon Jo** · † Tae-Ok Kim

*Korea Safety Engineering and Consulting**

*Korea Occupation Safety Health and Agency***

Department of Chemical Engineering, Myongji University

1. 서 론

설비의 위험도(risk)에 기반하여 검사의 우선순위를 결정하고, 검사주기 제시와 검사에 소요되는 자원을 관리하기 위한 검사방법인 위험기반검사(risk based-inspection, RBI)는 미국석유협회(API)에서 제시한 API-581 절차서[1] 등에 의해 제시되었으며, 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 이때, 위험도는 고장발생 가능성과 사고 피해크기의 곱에 의해 결정되고, 사고 피해크기는 주로 설비에서 사용되는 화학물질에 의해 발생할 수 있는 가연성 피해와 독성 피해에 대해 결정하고 있다. 그러나 사업장에서는 가연성 또는 독성 물질의 누출과 화재·폭발의 영향도 중요시하지만, 사고로 인한 재정적 손실을 고려하지 않을 수 없기 때문에 사고로 인한 재정적인 피해를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 더욱이 최근 선진국의 경우에는 사고 피해범위와 재정적 손실을 동시에 고려하여 사용자가 이를 선택적으로 사용하는 방법을 사용하고 있는 추세이다[1-3].

따라서 본 연구에서는 국내에서도 사고 피해범위와 재정적 손실을 동시에 고려하여 사업장 환경에 따라 선택적으로 사용할 수 있는 RBI 절차와 한국형 위험기반검사 프로그램(KS-RBI Ver 3.0)을 개발하였다. 그리고 KS-RBI Ver. 3.0 프로그램을 석유화학공장에 적용하여 설비 피해와 재정적 피해에 따른 화학설비의 위험도 등을 산출하여 검사주기 및 검사방법의 변화에 대하여 비교·분석하였다.

2. 재정적 위험도 평가

일반적으로 피해영역에 기초한 위험등급은 피해크기가 0인 경우 위험도는 최저값인 0을 나타낸다. 그러나 설비의 교체 및 보수, 운휴시간, 사업중단 손실, 환경정화 등의 비용을 고려할 경우에는 설비의 위험등급이 높아지게 된다.

2.1. 설비손상비용

증기 배관과 같은 경우에는 탄화수소를 사용하는 배관에 비해 큰 손상을 가져

오지 않는 경우에도 손상비용이 발생되기 때문에 위험도가 0이 되는 것은 현실적이지 못하다. 따라서 사고 피해범위와 상관없이 설비고장에 따른 비용을 평가하여야 한다.

2.2. 조업중단비용

개별 설비의 고장과 관련된 운휴시간은 피해영역에 기반을 두고 있으나, 피해영역을 전혀 갖지 않는 고장이 발생하였을 경우에는 그와 관련된 비용이 0이다. 그러나 고장으로 인한 실제 피해영역이 있을 경우에는 피해 설비를 교체하고, 보수하는데 따르는 운휴시간 비용을 고려하여야 한다.

2.3. 환경정화비용

사고로 인한 누출물질은 주위 환경을 오염시키므로, 이를 방지하게 위한 누출물질의 제거비용이 필요하다. 또한 용기에 남아 있는 물질을 제거하기 위한 비용도 고려되어야 한다.

2.4. 알고리즘 제시

누출물질로 인한 환경적 피해와 사고로 인해 사업중단 손실을 고려하여 재정적 피해를 예측하여야 한다.

재정적 위험도에서 사고발생 가능성(likelihood of failure, LOF)은 장치피해 위험도의 LOF와 동일하지만 피해크기를 예측하는 COF(consequence of failure)만 다르다.

환경적 피해 및 사업중단 손실에 대한 알고리즘은 Fig. 1과 같다.

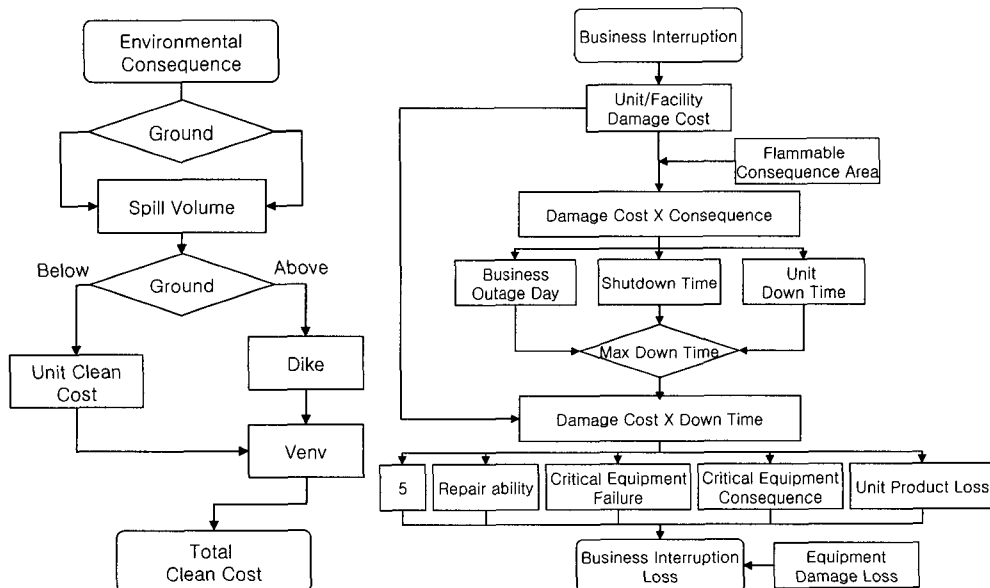


Fig. 1. Algorithm of environmental consequences and business interruption loss.

3. 결과 및 고찰

KS-RBI Ver. 3.0 프로그램은 사용자의 선택에 의해 피해크기 등급을 사고피해크기와 재정적 피해크기를 선택할 수 있도록 개발된 위험기반검사 프로그램이다.

본 연구에서는 KS-RBI Ver. 3.0 프로그램을 사용하여 D 석유화학 사업장의 H 공정에서 위험기반검사를 수행하고, 설비 피해크기를 장치손상 영역과 재정적 손실에 대해 산출된 결과를 비교하여 위험도 변화와 검사주기 변화에 대한 영향을 검토하였다.

Fig. 2는 화재, 폭발 및 독성물질의 누출에 의한 사고 피해크기로부터 결정된 위험도 행렬이다. 이때, 배관의 경우 중상, 중, 저 위험도는 각각 16(69.57%), 5(21.74%), 2(8.70%)이었고, 고정설비의 경우는 각각 2(18.18%), 7(63.64%), 2(18.18%)이었다.

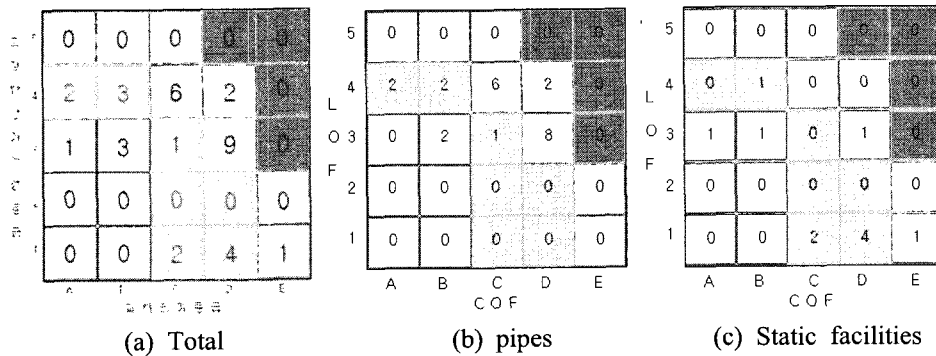


Fig. 2. Risk matrix of pipes and static facilities determined by damage areas.

또한 재정적 손실로부터 결정된 위험도 행렬은 Fig. 3과 같다. 이때, 배관의 경우 고, 중상, 중, 저 위험도는 각각 1(4.35%), 12(52.17%), 8(34.78%), 2(8.70%)이었고, 고정설비의 중상, 중, 저 위험도는 각각 4(36.36%), 5(45.45%), 2(18.18%)를 나타내었다.

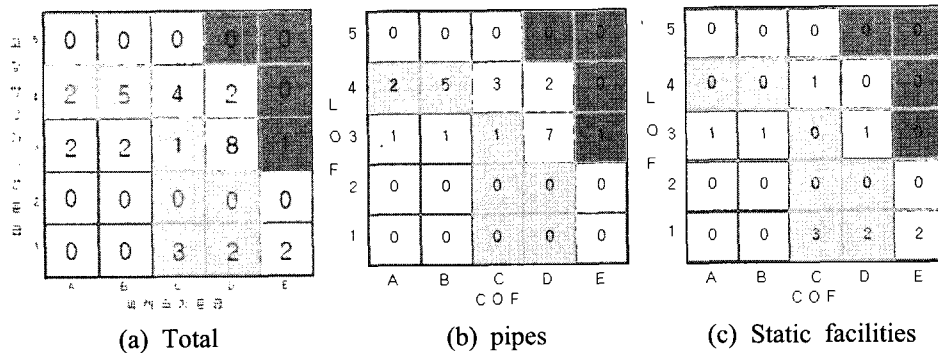


Fig. 3. Risk matrix of pipes and static facilities determined by financial risk.

Fig. 2와 Fig. 3의 위험도 행렬에서 사고 피해크기에 의한 위험도 분포와 재정적 위험도 분포는 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 재정적 위험도 분포가 다소 높게 나타나는 것으로 보이는데, 이것은 개별 설비에서 장치 피해크기는 크지만 재정적 손실이 적은 경우 또는 장치 피해크기는 적지만 재정적 손실이 큰 경우에 COF 등급이 한 등급씩 높거나 낮아지기 때문이다. 또한 유틸리티를 사용하는 설비에서 장치 피해크기는 0이지만 재정적 피해크기를 고려하면 피해크기가 다소 증가하기 때문에 향후에는 이를 고려하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Table 1은 장치 피해크기와 재정적 피해크기에 의해 결정된 위험도로부터 검사주기의 변화를 나타낸 것이다.

Table 1. Comparisons of inspection frequencies estimated by the damage risk and the financial risk.

Inspection frequency(yr/No)		1	2	3	4	5	6	8	Total
Pipe	Damage			8	11	2	2		23
	Financial			6	14	1	2		
Static facilities	Damage				2	1	8		11
	Financial			1	1	2	7		

Table 1에서와 같이 검사주기는 배관의 경우 장치피해에 의한 경우가, 그리고 고정설비의 경우는 재정적 피해에 의한 경우가 짧아지는 것으로 나타났는데, 이것은 물과 스팀에 의한 피해크기의 변화보다는 장치 피해크기와 재정적 피해크기의 등급 차이로 인해 위험도가 변화하였기 때문으로 생각된다. 즉, 물과 스팀을 사용하는 설비의 경우 COF는 A등급(피해면적 0)이기 때문에 재정적 피해크기를 고려할 경우에는 A등급 이상으로 위험도가 증가하여 검사주기는 짧아지게 된다.

4. 결론

API-581 절차에 따라 재정적 위험도를 고려한 위험도 산출 알고리즘을 구축하고, 이를 바탕으로 한국형 위험기반검사 프로그램(KS-RBI Ver 3.0)을 개발하여 화학설비에 적용하였다. 그 결과, 사고 피해크기에 의한 위험도 분포와 재정적 위험도 분포는 거의 유사하였으나 설비의 검사주기는 다소 차이가 있었다.

따라서 재정적 피해크기에 의한 위험도는 장치 피해크기를 기준으로 하는 경우보다 현실적인 면에서 타당성이 높기 때문에 향후 재정적 피해를 기준으로 위험기반검사를 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. API, “Based Resource Document of Risk Based Inspection : API-580”, American Petroleum Institute, New York, (2001)
2. CRTD/ASME, “Risk-Based Inspection - Development of Guidelines”, American Society of Mechanical Engineers, CRTD-20-1, New York, (1991)
3. API, “Risk-Based Inspection - Basic Resource Document : API-581”, American Petroleum Institute, New York, (2000)