

국내 실정에 적합한 정량적 원인분석이 가능한 위험기반검사의 활용방안

이헌창, 최성규¹, 이하연², 조지훈², 이근원², 함병호³, 김태옥^{1,*}
한국안전이엔씨, ¹명지대학교 화학공학과, ²한국산업안전공단, ³노동부
(kimto@mju.ac.kr*)

Application of Risk-Based Inspection Supporting the Quantitative Cause Analysis for Domestic Usages

H. C. Lee, S. K. Choi¹, H. Y. Lee², J. H. Cho², K. W. Lee², B. H. Ham³, T. O. Kim^{1,*}
Korea Safety E&C, Dept. of Chemical. Engineering, ¹Myongji University
²Korea Occupational Safety & Healthy Agency, ³Ministry of Labor
(kimto@mju.ac.kr*)

1. 서론

위험기반검사(risk-based inspection, RBI)는 설비의 고장발생 가능성(likelihood of Failure, LOF)과 사고 피해크기(consequence of failure, COF)의 곱에 의해 결정되는 위험도(risk) 등급에 따라 검사의 우선순위를 결정하는 방법이다. RBI는 1990년대에 미국기계학회에서 비행기의 제트엔진과 원자력의 안전성을 정량적으로 분석하기 위해 처음 시도되었으며[1, 2], 2000년대에 와서 미국석유협회(American Petroleum Institute, API)를 중심으로 석유화학 및 정유 분야에 적용할 수 있는 RBI 절차를 개발하는 등 활발하게 연구가 진행되고 있다[3,4]. 국내의 경우 대기업을 중심으로 몇몇 기업에서 RBI를 도입하고 있는 초기단계에 있으며, 국내·외의 사례를 통해 RBI 적용의 효과를 분석한 결과, 직접 및 간접 비용은 약 60% 정도가 감소되는 것으로 보고되었다[5]. 그러나 현재까지 RBI를 수행하고, 향후 RBI와 관련하여 이를 활용할 수 있는 구체적인 방안은 수립되어 있지 못한 실정이다. 따라서 RBI를 수행하고, 사업장의 환경에 맞도록 관리 및 개선을 위한 시스템이 체계적으로 구축될 수 있도록 하여야 한다.

2. 본론

2-1. 위험기반검사

API에서는 RBI를 수행하기 위하여 API-580 및 API-581과 같은 절차를 개발하여 보급하고 있으며, 특히 API-581은 정량적인 방법에 의해 위험도를 산출하도록 하고 있으며, 이를 바탕으로 대부분의 RBI 관련 프로그램이 개발되고 있다. 이들 RBI 프로그램은 위험도를 산출하여 위험도 등급에 따라 검사의 주기 및 방법을 산출할 수 있으며, 이때 위험도 등급은 LOF와 COF의 곱에 의해 결정되는 위험도 행렬(Fig. 1 참조)을 이용하여 결정한다.

Fig. 1에서와 같이 위험도 등급은 고(high), 중상(high-medium), 중(medium), 저(low)의 4가지 등급으로 나누고, 등급에 따라 검사주기를 1-2년, 2-4년, 4-6년, 6-8년으로 산정하게 된다. 특히, 최근에는 위험도 등급과 설비의 신뢰도를 함께 평가하여 검사주기를 산정하는 방법도 개발되어 있으며, 프로그램의 특징에 따라 다양하게 사용되고 있다.

또한 설비의 고장발생 확률은 일반고장률(generic failure

	5	High-Medium	High			
4						
3						
2			Medium			
1	Low					
		A	B	C	D	
		Consequence Category				

Fig. 1. Risk matrix.

frequency), 장치변형인자(equipment modification factor), 그리고 관리시스템 평가(management systems evaluation factor)의 곱에 의해 결정된다. 일반고장률은 API에서 누출 시나리오별로 제공되는 고장률을 사용하며, 장치변형인자는 개별 설비와 관련된 조건들을 고려하여 산출하게 된다. 또한 관리시스템 평가는 사업장에서 공정과 관련된 안전관리시스템에 대하여 평가하여 이를 반영한다.

사고 피해크기는 가연성 및 독성에 의한 장치 피해면적 또는 환경 및 재정적 피해에 의한 사업중단 손실금액에 의해 결정된다. 이때, 장치 피해면적은 각 누출 시나리오 별로 산출된 피해크기를 고장발생 확률에 의한 가중평균값에 의해 결정된다. 또한 재정적 피해는 증기, 냉각수 등과 같은 경우 장치 피해영역은 산출될 수 없으므로, 이를 손실금액으로 환산하여 산출하는 방법이다.

2-2. 위험도 관리시스템

RBI에서 위험도 관리는 Fig. 2에서와 같이 LOF와 COF에 대하여 위험도 산정모델을 바탕으로 프로그램을 이용하여 위험도를 해석하고, 위험도를 해석한 결과를 바탕으로 개별 설비에 대한 검사주기, 검사방법, 검사기법, 검사일정, 검사부위 등의 종합적인 검사계획을 수립한다.

사업장에서는 수립된 검사계획을 이용하여 검사일정에 맞게 설비에 대한 검사를 진행하고, 검사결과에 의해 잔여수명 및 적합성 평가를 수행하여 설비의 보수 및 폐기 등을 고려한다. 그리고 검사를 수행한 결과를 다시 프로그램에 입력하여 위험도를 다시 산출하여 다음 검사계획을 수립하게 된다. 예로, RBI 수행 초기의 검사주기가 6년이었던다면, 6년 후 검사를 수행하고, 얻어진 다음 검사주기는 6년 이하의 검사주기를 얻게 된다. 즉, 설비의 경우 시간이 경과하면서 신뢰도가 떨어지고, 상대적으로 위험도가 증가되었기 때문에 검사주기는 점차적으로 짧아지게 된다.

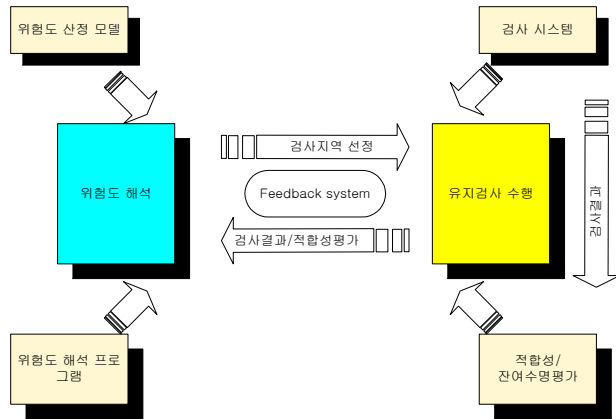


Fig. 2. Management of risk.

2-3. 검사주기 설정

국내의 압력용기를 사용하는 경우는 일반적으로 고압가스안전관리법과 산업안전보건법을 적용받고 있으며, 고압가스안전관리법은 별표 22항[6]에 의해 최대 검사주기를 10년으로 설정하고 있다. 또한 산업안전보건법의 경우 고압가스안전관리법과 같이 최대 10년을 주기로 산정할 것을 입법 추진 중에 있다. 그러나 일부 외국 프로그램의 경우 검사주기를 최대 20년을 주기로 하는 경우도 있는데, 이 경우 국내 실정을 고려한다면 위험부담이 상당히 클 것으로 예상된다.

API-581에서 검사주기는 위험도 등급과 향후 검사에서의 검사요구 수준에 의해 결정된다. 즉, 동일한 위험도 등급을 얻었다고 동일한 검사주기를 설정하는 것이 아니라, 설비상태를 고려하여 설비상태가 좋지 못할 경우 검사주기는 더 짧아지고, 반대로 설비상태가 좋다면 검사주기는 더 늘어나게 된다. Table 1은 한국안전이엔씨(KS E&C)에서 개발한 KS-RBI에서 사용되고 있는 검사주기의 예이다[7].

위험도 등급이 고(high)인 경우는 실제 약간 효과적(poorly)인 경우는 해당되지 않으므로 검사주기는 1-2년 주기로 나타나며, 중상(high-medium)인 경우는 약간 효과적(poorly)인 경우는 해당하지 않는 경우가 많아 2-4년의 주기를, 중(media)인 경우는 매우 효과적

(highly)인 경우가 거의 없기 때문에 4-6년의 검사주기를, 저(low)인 경우는 매우 효과적 (highly)와 대체로 효과적(usually)인 경우는 해당되지 않으므로 6-8년의 검사주기를 갖는다. 또한 위험도 등급과 검사요구 수준을 동시에 고려하여 사업장에 적용한 결과 검사주기는 타당성이 있는 것으로 판단되었다.

Table 1. Inspection intervals with KS-RBI Ver. 3.0 program.

Risk category	Inspection level recommended			
	Highly	Usually	Fairly	Poorly
High	1	1	2	3
High-medium	2	3	4	5
Medium	3	4	5	6
Low	4	5	6	8

2-4. 관련 제도와의 연계

API-581에 의해 개발된 RBI에서는 고장발생 확률을 산출하기 위해 관리시스템 평가를 수행하도록 하고 있다. 관리시스템 평가는 현재 고압가스안전관리법에서 SMS 제도의 내부감사[8]와 산업안전보건법에서 PSM 제도의 안전관리 이행수준 평가[9]와 비슷한 방법에 의해 진행되고 있다. Table 2와 Table 3은 산업안전보건법에 의한 PSM 이행수준 평가 내용과 API-581에서 관리시스템 평가의 내용을 비교한 것이다. PSM 이행수준 평가와 API-581의 관리시스템 평가의 내용은 대부분이 비슷하며, 실제 세부적인 내용도 크게 차이가 나지 않는다. 따라서 국내 실정에 맞게 현행제도와 연계되어 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료되어 진다.

Table 2. PSM 이행수준 평가

No.	분야	질문	배점
1	안전경영과 근로자 참여	39	326
2	공정안전자료	3	25
3	공정 위험성 평가	7	58
4	안전운전지침과 절차	4	33
5	설비의 점검/정비/유지관리 지침	9	75
6	안전작업 허가 및 절차	8	67
7	협력업체 안전관리	7	58
8	공정운전에 대한 교육/훈련	4	33
9	가동전 점검지침	3	25
10	변경요소관리	7	58
11	자체감사	9	75
12	공정 사고조사	6	50
13	비상조치계획	5	42
14	현장 확인	9	75
Total		120	1,000

Table 3 API-581 management system evaluations.

No	분야	질문	점수
1	리더쉽과 관리	6	70
2	공정 안전 정보	10	80
3	공정 위험 분석	9	100
4	변경 관리	6	80
5	운전 절차	7	80
6	안전 작업 관행	7	85
7	교육	8	100
8	기계적 건전성	20	120
9	운전개시 전 안전 검토	5	60
10	비상 대응	6	65
11	사건 조사	9	75
12	계약자	5	45
13	평가	4	40
총점		102	1000

또한 SMS와 PSM 제도에서는 설비의 위험성을 평가하기 위하여 정량적인 평가를 수행할 것을 법으로 정하고 있다. API-581에서 위험도를 산출하기 위해 사고 피해크기를 산출하여야 하는데, RBI에서는 가중평균에 의한 피해범위와 최악의 누출 시나리오를 고려한

피해범위를 산출한다. 실제 동일한 설비에 대하여 동일한 누출 시나리오를 고려하여 한국산업안전공단(KOSHA)에서 개발한 K-CARM ver 2.0 프로그램을 이용하여 KS-RBI Ver. 3.0과 피해범위를 비교한 결과 피해범위는 비슷하게 나타났다[10]. 즉, RBI에서 산출된 범위는 경험에 의해 얻어진 가중평균값은 사용하므로 사업장에서는 활용면에서 보다 장점을 가지고 있다. 그리고 가중평균과 최악의 누출 시나리오를 동시에 제시함으로써 사업장의 현실에 맞게 비상조치계획을 수립함으로써 사고피해를 최소화하는 대책을 수립할 수 있는 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 사업장에서 FTA를 이용해서 설비의 고장발생 확률을 산출해야 하나 이에 대한 이해의 부족으로 고장발생 확률을 수립한 사업장은 상당히 극소수이다. 그러나 RBI를 수행할 경우 개별설비에 대한 고장발생 확률을 간편하게 산출할 수 있으므로 활용면에서는 뛰어나다.

따라서 정량적 위험성 평가에 대한 인정 범위는 RBI를 수행하였을 경우에 까지 확대하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 위험도에 의해 검사주기 및 방법을 설정하는 위험기반검사 기법을 소개하고, API-581을 바탕으로 개발된 KS-RBI Ver. 3.0에서 사용되는 검사주기를 사업장에 적용한 결과, 타당성이 큰 것으로 평가되었다. 또한 RBI의 활용도를 높이기 위하여 현행의 SMS 및 PSM 제도와 연계하여 적용할 수 있는 것으로 검토되었으며, RBI에 의한 정량적 위험성 평가가 현재의 다른 방법들 보다 현실적인 것으로 평가되었다.

References

1. ASME, "Risk-Based Testing : Development of Guidelines", Center for Research and Technology Development(CRTD), **40**(1), American Society of Mechanical Engineers(2000).
2. ASME, "Risk-Based Inspection, Development of Guidelines", CRTD, **20**(1), American Society of Mechanical Engineers(1994).
3. API, "Based Resource Document of Risk Based Inspection : API 580", American Petroleum Institute(API)(2001).
4. API, "RBI Basic Resource Document : API 581", American Petroleum Institute, 2000.
5. KOSHA, "Development of K-RBI Program II", Korea Occupational Safety & Health Agency, Technical Manual(2004).
6. 고압가스안전관리법 시행규칙 별표 22(2006.2.26개정).
7. KS E&C, "KS-RBI Ver. 3.0 Program Manual", Korea Safety Engineering & Consulting, Technical Manual(2007).
8. KGS, "내부안전감사기법", Korea Gas Safety Corporation, KGS-2006-14(2006).
9. 산업안전보건법 49조의2 ⑦항(공정안전보고서의 제출 등)(2005.3.31개정).
10. H. C. Lee, S. Y. Hwang, J. H. Cho, B. H. Ham, and T. O. Kim, "Consequence Analysis of Fire and Explosion Accidents by Release Scenario of API-581 BRD", Fall Meeting of Korea Safety Management & Science, 351-355(2006).