

위험기반검사에 의한 화학설비의 안전성 향상

이헌창, 최성규, 신평식*, 임대식*, 김태옥
명지대학교 화학공학과, *한국산업안전공단

Improvement of Safety for the Chemical Facilities by Risk Based-Inspection

Lee Hern-Chang, Choi Sung-Kyu, Shin Pyung-Sik*, Lim Dae-Sik*, Kim
Tae-Ok
Myongji University, *Korea Occupation Safety & Healthy Agency

요 약

한국형 위험기반검사 프로그램을 석유화학공장에 적용하여 사업장의 안전관리 이행수준, 공정 위험도 등급 및 분포 및 설비의 손상메카니즘 분포를 산출하였으며, 이를 바탕으로 검사주기 변경으로 설비검사를 수행함으로써 배관의 안전성을 향상시키고, 검사비용을 절감할 수 있었다.

1. 서 론

석유화학, 정유, 가스 등의 에너지 산업분야의 기술이 급속하게 발전함에 따라 각종 시설들은 복잡·다양화되고 있으며, 압력설비와 같은 고온, 고압의 조건 하에서 운전하는 시설과 설비가 급증하고 있다[1-2]. 이들 장치 및 설비 중에서 노후화된 설비들은 보수하거나 대체 또는 폐기하고 있으나 경제적 또는 환경적 문제로 보수나 대체가 용이하지 않기 때문에 이로 인한 대형사고의 가능성은 항상 존재하고 있다.

따라서 노후화된 설비들은 유지 및 보존 상태와 경제성 및 안전성에 따라 효과적이고 적절한 시기에 검사하거나 보수해야 할 필요성이 있으며, 이를 해결하기 위해 도입된 위험기반검사(risk based-inspection, RBI)는 최근 미국, 유럽 등의 선진국을 중심으로 급속히 발전·보급되고 있다[3-5].

RBI는 사고발생 가능성(likelihood of failure, LOF)과 사고결과의 크기(consequence of failure, COF)의 곱에 의해 결정되는 위험도(risk)를 이용하여 검사체계의 운영과 공정 또는 장치의 검사 우선순위를 결정하는 방법이다. 또한 RBI는 안전·환경 및 사업수행에 장애를 주는 위험요소를 검토하여 비용-효과적인(cost-benefit) 방법으로 설비를 관리할 수 있도록 할 뿐만 아니라 검

사자원을 보다 효율적으로 운영하여 사고 가능성을 구조적으로 감소시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 API-581 절차에 의해 개발된 K-RBI 프로그램을 화학공장에 실제 적용하여 위험성을 평가하고, 설비의 안전도를 향상시킬 수 있는 방법을 찾고자 하였다.

2. 평가수행

2-1. RBI 수행절차

일반적인 RBI 수행절차는 Fig. 1과 같으며[6-7], 이때 수행팀은 설비/기계검사자, 재료부식전문가, 공정기술자, 운전정비 전문가, 위험성 평가 전문가 등으로 구성한다. RBI 수행팀은 P&ID와 PFD 등을 이용하여 유체의 흐름, 설비의 정보, 인벤토리 그룹 등을 정의할 수 있도록 시스템화를 수행한다.

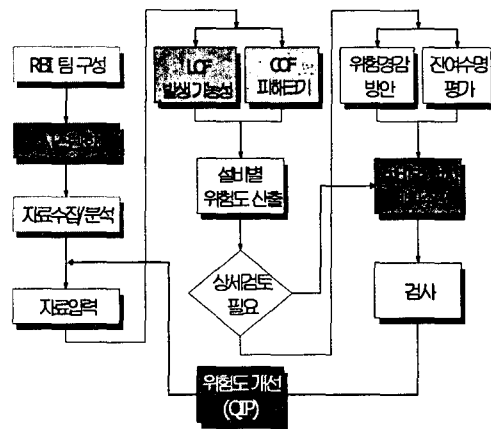


Fig. 1. Procedure of risk based inspection.

그리고 시스템화를 수행 후 배관, 고정설비, 회전기계, 밸브와 같은 설비에 대하여 자료를 수집 및 분석하여 데이터를 입력한다. 입력된 데이터는 프로그램 상에서 LOF와 COF를 산출하고, 설비별 위험도를 이용하여 검사계획을 수립하도록 하며, 유지이력반영을 통해 위험도가 개선되도록 구성된다.

2-2. 대상공정 선택

대상공정은 Fig. 2의 공정 흐름도와 같이 울산산업단지 내의 석유화학공장을 선택하여 시스템화를 통해 공정분석을 수행하였다. 이로부터 얻어진 설비는 Table 1과 같이 고정설비 48기, 배관 79개, 회전설비 19개에 대하여 자료를 취득하였다.

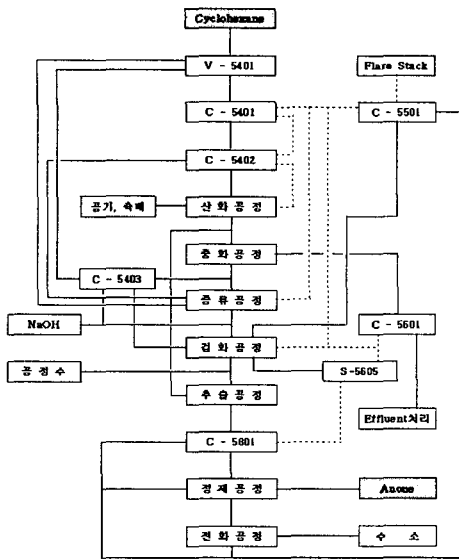


Fig. 2. Process flowchart.

Table 1. Record of facilities

구분	설비구분	수량	Record 수
계		128	146
고정설비	소계	30	48
	Reactor	6	
	Separator	6	
	Reboiler	5	
	Tower	3	
	Vessel	3	
	Scrubber	1	
	Column	1	
	Cooler	1	
	Condenser	1	
	Storage	1	
	Tank	1	
배관	배관	79	79
회전설비	펌프	19	19

2-3. 한국형 위험기반검사 프로그램

한국산업안전공단에서 개발된 한국형위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 이용하여 각 설비에 대한 자료를 Fig. 3에서와 같이 엑셀을 통해 입력하고 사업장 평가, 공정평가 및 설비평가를 수행하였다.

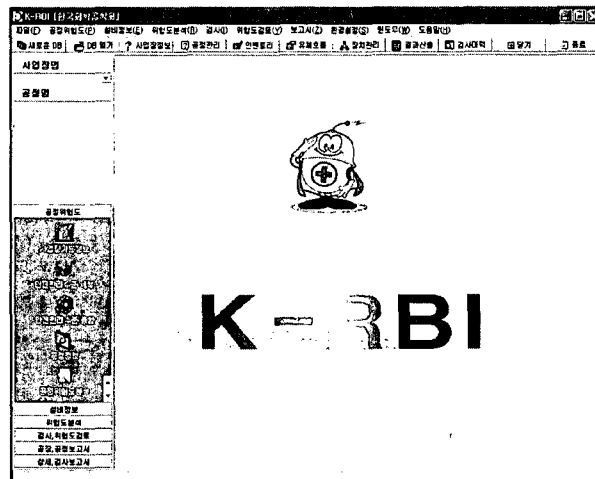
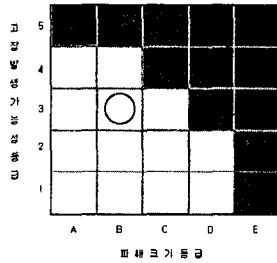


Fig. 3. Input data for K-RBI program.

3. 결과 및 고찰

사업장의 안전관리 이행수준을 평가한 결과는 Fig. 4와 같이 88.5점으로, S등급이었다. 또한 공정평가는 고장발생 가능성 3등급, 설비피해크기 B등급, 건강피해크기 A등급으로, 중위험도 등급을 나타내었다.

번호	내용	최고설계값	최고현실점수	평가설계점	현실점수
1	안전경영과 근로자 참여	500	240	426	204
2	공정안전자료	40	50	36	45
3	공정위험성평가	60	55	54	49
4	안전운전지침과 절차	80	40	64	32
5	설비의 점검/정비/유지관리 지침	110	55	90	45
6	안전작업허가 및 절차	180	65	164	56
7	합격업체 안전관리	110	40	82	29
8	공정안전에 대한 교육/훈련	50	50	46	46
9	기동전 점검지침	30	30	22	22
10	변경요소관리	80	70	72	63
11	지배검사	70	90	66	84
12	공정사고조사	70	30	56	24
13	비상조치계획	60	35	56	32
14	현장확인	170	150	152	134
합계		1620	1000	1366	885

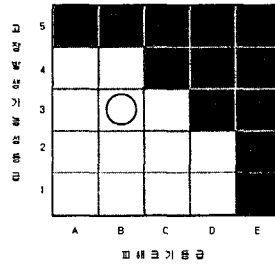


고장 발생 가능성: 3등급	피해크기: 8등급	건강피해: A등급
설비계수: 15	화학적물질계수: 9	독성물질계수: 0
온습도계수: 26	물질발달계수: 34	박산계수: 0
습사계수: -12	상태계수: 5	신뢰계수: 0
상태계수: 2	자연발화계수: 7	인구계수: 0
공정계수: 2	입력계수: -15	
기계적 설계계수: 2	신뢰계수: -7	
위험도등급: 중		

Fig. 4. Evaluation of PSM and process.

해당공정에서 설비에 대한 위험도 분포는 Fig. 5와 같이 고위험도 11개 (7.38%), 중상위험도 74개(49.66%), 중위험도 63개(42.28%), 저위험도 1개 (0.67%)이었으며, 이때 발생하는 손상메카니즘은 두께감소(39.63%)>응력부식(39.36%)>외부부식(18.62%)>기계적피로(1.6%)>취성파괴(0.8%)의 순이었다. 그리고 설비별 손상메카니즘은 배관에서 54.36%로 가장 많았으며, 열교환기, 탭류, 회전기계, 반응기 순으로 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 두께감소, 응력부식, 피로, 외부부식이 예측되는 설비는 균열 등이 발생할 수 있으므로 검사주기 및 방법에 따라 초음파탐상검사, 액체침투탐상검사, 방사선투과검사 등의 비파괴 검사를 실시할 필요가 있는 것으로 나타났다.

번호	내용	최고실태점	최고원산점수	평가실태점	원산점수
1	안전경영과 근로자 참여	500	240	426	204
2	공정안전자료	40	50	36	45
3	공정위험성평가	60	95	54	49
4	안전문헌지침과 절차	80	40	64	32
5	설비의 점검/정비/유지관리 지침	110	95	90	45
6	안전작업허가 및 절차	190	65	164	56
7	실적영역 안전관리	110	40	82	29
8	공정문헌에 대한 교육/훈련	50	50	46	46
9	가동전 점검지침	30	30	22	22
10	변경요소관리	80	70	72	63
11	자체검사	70	90	66	84
12	공정시교조사	70	30	56	24
13	비상조치계획	60	35	56	32
14	현장확인	170	150	152	134
총계		1620	1000	1366	865



고장 발생 가능성 :	3등급	피해크기 :	B등급	건강피해 :	A등급
설비계수 :	15	원칙발생계수 :	9	독성발생계수 :	0
순상계수 :	26	물질발생계수 :	34	화산계수 :	0
검사계수 :	-12	소태계수 :	5	산화계수 :	0
상태계수 :	2	자연발생계수 :	7	인구계수 :	0
공정계수 :	2	인력계수 :	-15		
기재적 설계계수 :	2	신뢰계수 :	-7		
		위험도등급 :	중		

Fig. 5. Analysis of risk for facilities.

설비의 검사주기는 Table 2에서 RBI를 수행하기 전과 후를 비교하였는데, 고정설비의 경우 현재 검사주기는 2년이 9개, 3년이 21개이었으나 RBI 수행후 2년, 3년, 4년, 5년, 6년에 대해 각각 1, 11, 5, 11, 2개로 나타나 향후 검사비용이 상당히 감소됨을 알 수 있다. 또한 배관은 검사를 수행하고 있지 않았으나 Table 2에서와 같이 RBI 수행 후 2년에서 5년을 주기로 검사를 수행할 필요가 있는 것으로 나타났으며, 검사를 통해 설비의 신뢰도를 높여야 할 것으로 판단되었다.

4. 결론

한국형 위험기반검사 프로그램을 석유화학공장에 적용한 결과, 사업장의 안전관리 이행수준은 88.5점으로 S등에 해당하였으며, 공정은 고장발생 가능성 3등급, 사고피해크기 B등급으로 위험도는 중 등급을 나타내었다. 위험도 분포는 고(7.38%), 중상(49.66%), 중(42.28%), 저(0.67%)로 나타났으며, 두께감소와 응력부식이 상당히 많이 발생되었다. 위험도를 이용한 설비의 검사주기는 고정설비의 경우 2~3년 주기적인 검사를 2~6년 주기로 확장이 가능하였으며, 배관의 경우 2~5년 주기로 검사를 수행함으로써 배관의 안전성 향상에 도움이 기대되며, 또한 검사주기 확장으로 비용절감 효과가 기대된다.

5. 참고문헌

1. Kletz, T. A., "What Went Wrong", Gulf publishing Co., Houston, TX(1986).
2. Lees, F. P., "Loss Prevention in the Process Industries", Butter-worths, London(1980).
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. ASME, "Risk-Based Inspection, Development of Guidelines", CRTD, 20(1), American Society of Mechanical Engineers(1994).
6. KOSHA, "Development of K-RBI Program", Korea Occupational Safety & Health Agency, Technical Manual(2004).
7. Lee, H. C., Kim, H. J., Shin, P. S., Lim, D. S., and Kim, T. O., "Development of K-RBI Program", *Theories and Application of Chem. Eng.*, 9(2), 2993-2996(2003).