



## 화학설비의 안전성 향상을 위한 위험기반검사의 적용

이헌창\* · 신평식\*\* · 최병남\*\* · 조지훈\*\* · 정성권\*\*\* · 김오환\*\*\* · 신동일 · 김태욱

명지대학교 화학공학과, \*한국안전이엔씨, \*\*한국산업안전공단, \*\*\*삼남석유화학(주)  
(2006년 6월 25일 접수, 2006년 9월 8일 채택)

## Application of Risk Based-Inspection for the Safety Improvement of the Chemical Facilities

Hern-Chang Lee\* · Pyong-Sik Shin\*\* · Byung-Nam Choi\*\* · Ji-Hoon Jo\*\* ·  
Seong-Gweong Jeong\*\*\* · O-Hwan Kim\*\*\* · Dongil Shin · †Tae-Ok Kim

Dept. of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

\*Korea Safety Engineering and Consulting

\*\*Korea Occupation Safety Healthy and Agency

\*\*\*Sam Nam Petrochemical Co.,Ltd.

(Received 25 June 2006, Accepted 8 September 2006)

### 요 약

화학설비의 안전성을 향상시키기 위하여 API-581 절차에 따라 국내실정에 맞도록 개발한 한국형 위험기반검사(K-RBI) 프로그램을 화학설비에 적용하였다. 그 결과, 적용 사업장의 자체 안전관리 수준평가(PSM), 적용 대상공정의 위험도, 고정설비와 배관의 위험도, 그리고 설비의 손상메카니즘을 알 수 있었으며, 공정 위험도와 설비상태로부터 설비의 검사주기를 제시할 수 있었다. 따라서 검사주기 연장 등으로 인한 정비비용의 절감효과와 더불어 생산성 향상, 설비 신뢰도 향상, 설비의 유지·보수 및 이력관리의 전산화 등을 실현할 수 있었다.

**Abstract** – As a way of improving the safety of the facilities, the risk based-inspection (RBI) was executed for the chemical facilities by using K-RBI program, which has been developed based on the API-581 based resource document (BRD). As the result of the evaluation, we found the level of the process safety management (PSM) for the applied plant, quantitative risk of the applied process, risk of static facilities and pipes, and the damage mechanism of the facilities. Thus, we could suggest a proper inspection frequency using the calculated risk of the process and the status of the facilities. The applied plant achieved a reduced inspection cost by an extension of the inspection frequency, improved productivity, improved reliability of the facilities, and a computerized history management.

**Key words** : Risk based-inspection (RBI), Safety, Chemical facilities, API-581, Inspection frequency, PSM, Damage mechanism

### I. 서 론

석유화학, 정유, 가스, 전력 등 에너지 산업분야의 기술이 급속하게 발전함에 따라 각종 설비들은 복잡·다양화되고 있으며, 더욱이 생산효율을 증가시키기 위해 압력설비와 같은 고온·고압의 조건 하에서 운전되는 시설이나 설비의 사용이 급증하고 있다[1]. 이와 같은 설비들은 설치 후 시간이 지남에 따라 점차 낡아지기

때문에 이들을 보수하거나 대체 또는 폐기하고 있으나 경제적 또는 환경적 문제로 보수하거나 대체하지 않는 경우에는 대형사고가 발생할 가능성이 매우 높다[2].

따라서 낡은 설비들은 유지·보존상태와 경제성 및 안전성에 따라 적절한 시기에 가장 효과적인 방법으로 검사하고, 보수해야 될 필요성이 있다. 이를 해결하기 위해 최근 미국석유협회(API)에서 개발된 위험기반검사(risk based-inspection, RBI)는 설비의 위험도에 따라 검사의 우선순위를 결정하고, 검사주기와 검사에 소요되는 자원을 관리하기 위한 검사기법이다[3,4].

\*주저자:kimto@mju.ac.kr

본 연구는 API에서 제시한 API-581[5] 절차에 따라 국내실정에 맞도록 개발한 한국형 위험기반검사 프로그램을 화학설비에 적용하여 설비의 위험성을 평가하고, 이를 바탕으로 검사주기 제시 등 설비의 안전성을 향상시키는 방법을 제시하였다.

## II. 한국형 위험기반검사

### 2.1. K-RBI 알고리즘

한국형 위험기반검사(K-RBI)의 알고리즘은 API-581 절차를 바탕으로 국내실정에 맞도록 Fig. 1과 같이 작성하였다. 즉, 수행하고자 하는 대상공정의 검사 우선순위를 결정하는 단계와 대상공정에 대한 각 설비별 위험도를 산출하여 설비의 검사 우선순위를 결정하는 단계로 구분된다[6].

공정 위험도는 3개의 범주, 즉 사고발생 가능성, 장치손상피해 및 건강피해로 구분하고, 장치손상피해와 건강피해 중 큰 등급을 피해크기 등급으로 설정한다. 이때, 사고발생 가능성은 장치계수, 손상계수, 검사계수, 상태계수, 공정계수 및 설계계수에 의해 결정되며, 장치손상피해는 화학물질계수, 물질량계수, 상태계수, 발화계수, 압력계수 및 신뢰도계수에 의해 결정된다. 또한 건강피해는 독성량계수, 분산계수, 신뢰도계수 및 인구계수에 의해 결정된다. 이와 같이 결정된 사고발생 가능성 등급과 피해크기 등급을 각각 행렬의 세로와 가로에 나타내어 정성적 위험도를 결정한다.

정량적 위험기반검사에서 검사 우선순위를 결정하는데 필요한 누출 시나리오(s)별 설비의 위험도(risk)는 사

고발생 가능성(likelihood of failure, LOF)과 사고결과 크기(consequence of failure, COF)의 곱으로 식 (1)과 같이 나타낸다[5].

$$(Risk)_s = (LOF)_s \times (COF)_s \quad (1)$$

여기서 사고발생 가능성은 각 장치의 일반 고장발생빈도와 설비변경계수, 그리고 관리시스템평가계수로부터 산출된다. 이때, 설비변경계수는 각 장치의 운전 또는 조건과 관련된 기술종속계수, 보편적 종속계수, 기계적 종속계수, 그리고 공정종속계수로부터 결정되며, 각 계수들은 Fig. 2와 같이 세부항목들로부터 결정된다. 그리고 관리시스템평가계수는 유해물질의 누출을 방지하

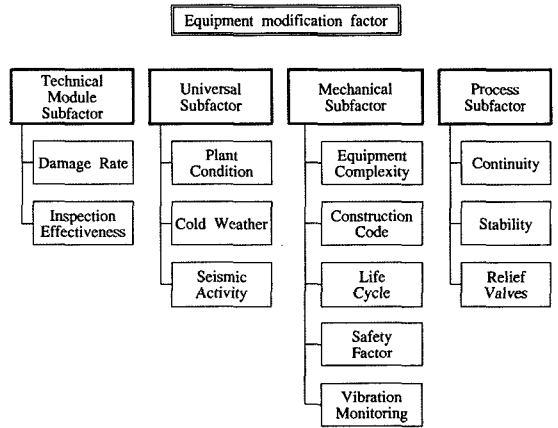


Fig. 2. Overview of equipment modification factor.

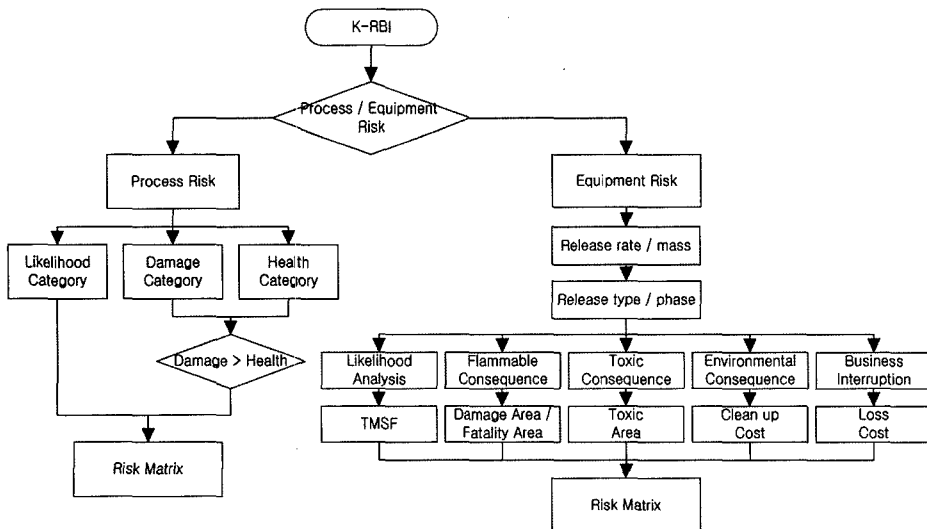


Fig. 1. Algorithm of K-RBI program.



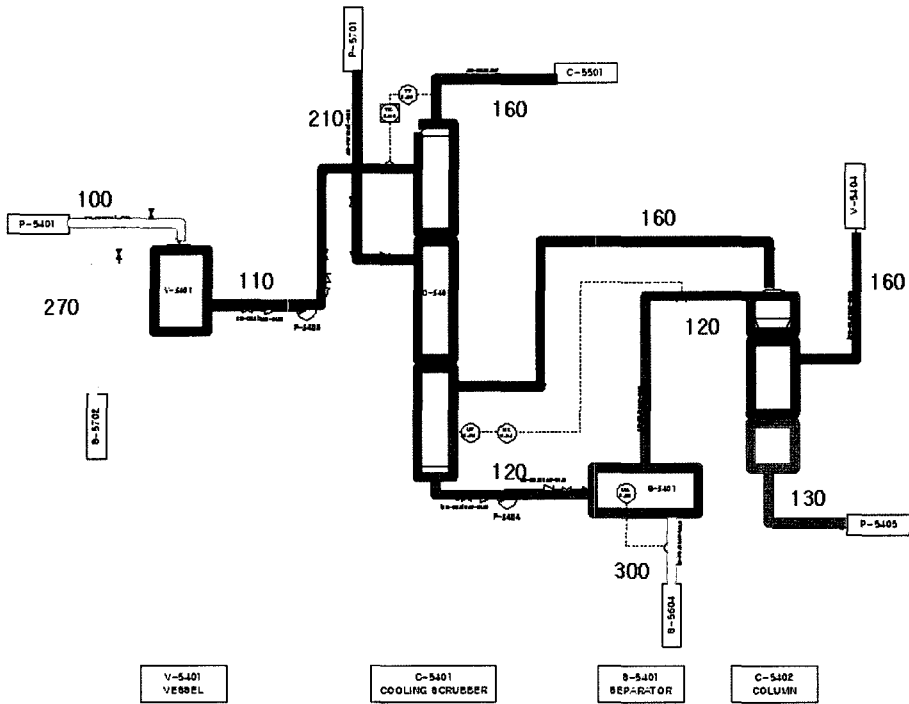


Fig. 6. Example of systemization for K plant by K-RBI.

Table 1. Number of equipment in the K plant.

Facilities	Equipments	Number	Division No.
Static facilities	Total	14	35
	Reactor	2	35
	Heat Exchanger	8(29)	
	Tank	2	
	Filter	2	
Pipes	Pipe	85	85
Total		99	120

### III. 결과 및 고찰

한국형 위험기반검사 프로그램(K-RBI Ver. 2.0)을 사용하여 S석유화학(주)의 K plant에 대해 위험기반검사를 수행하고, 설비의 안전성을 분석하였다.

#### 3.1. PSM 이행수준 및 공정 위험성 평가

노동부와 한국산업안전공단에서 수행중인 안전관리 이행수준평가[8]를 자체적으로 평가하여 적용한 결과는 Fig. 7과 같으며, 안전관리 수준은 97.2점으로 PSM 등

### K-RBI 안전관리 수준평가(종합) KOSHA

번호	내용	최고실배점	최고환산점수	평가실배점	환산점수
1	안전경영과 근로자 참여	500	240	490	235
2	공정안전자료	40	50	40	50
3	공정위험성평가	60	55	58	53
4	안전문헌지침과 절차	60	40	78	39
5	설비의 점검/정비/유지관리 지침	110	55	110	55
6	안전적업허가 및 절차	190	65	190	65
7	설비업체 안전관리	110	40	108	39
8	공정운영에 대한 교육/훈련	50	50	48	48
9	가동전 점검지침	30	30	30	30
10	변경요소관리	60	70	60	70
11	차별감사	70	90	64	62
12	공정사고조사	70	30	70	30
13	비상조치계획	60	35	58	33
14	원장확인	170	150	166	146
총합		1620	1000	1590	975

비고 : P 등급 = 90점이상  
S 등급 = 80-90점  
M 등급 = 60점미만

Fig. 7. Evaluation of process safety management.

급 중 P등급에 해당하여 안전관리가 잘 이행되고 있는 것으로 평가되었다.

또한 K 공정에 대한 위험도를 분석한 결과는 Fig. 8

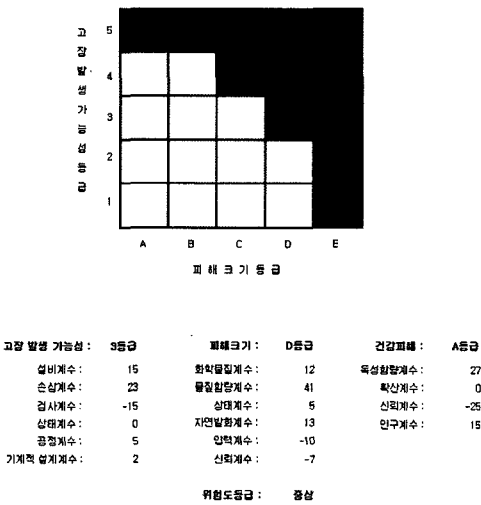


Fig. 8. Analysis of process risk.

과 같으며, 고장발생 가능성은 3등급, 가연성 물질에 의한 피해는 D등급, 그리고 독성물질에 의한 피해는 A등급으로 나타났으며, 이로부터 결정된 공정의 위험성 등급은 중상 위험도에 해당하였다.

3.2. 공정설비의 위험도 분포

K 공정에서 공정설비의 위험도 분포는 Fig. 9에서와 같이 고위험도 설비는 11개로 약 9%, 중상위험도 설비는 20개로 약 17%, 중위험도 설비는 68개로 약 57%,

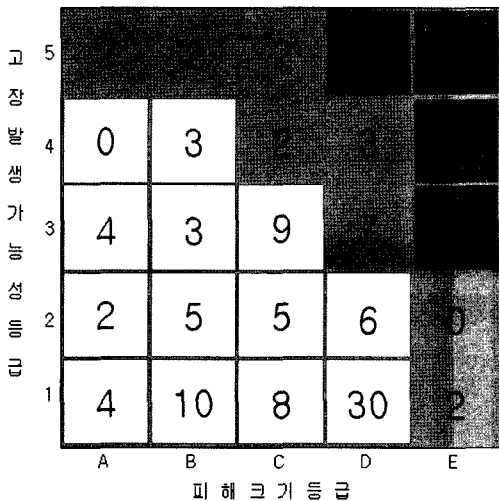
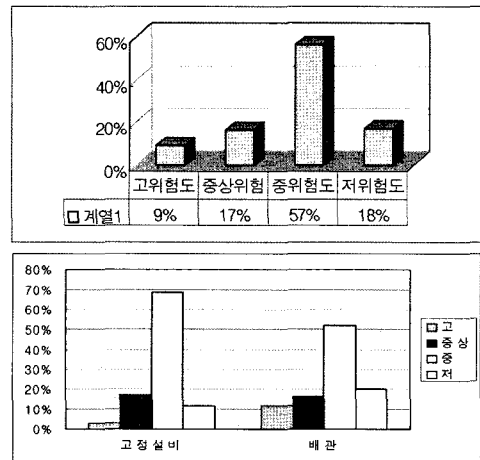


Fig. 9. Risk distributions of equipments in the K plant.

그리고 저위험도 설비는 21개로 약 18%를 차지하였다. 이때, 고정설비 및 배관에서의 위험도 분포는 Fig. 10과 같이 고정설비의 위험도 분포는 고위험도 1개 (2.86%), 중상위험도 6개(17.14%), 중위험도 24개 (68.57%), 그리고 저위험도 4개(11.43%)이었다. 또한 배관의 위험도 분포는 고위험도 10개(11.76%), 중상위험도 14개(16.67%), 중위험도 44개(51.76%), 그리고 저위험도 17개(20.00%)이었다. 특히, 고정설비와 배관에서의 고위험도 설비들은 아세트산(acetic acid)에 의한 부식으로 두께감소가 심각하게 발생되어 이들 설비에 대한 관리가 절실히 요구되기 때문에 S석유화학(주)에서는 고위험도 설비들을 주기적으로 교체하거나 보수하고 있었다. 또한 산출된 부식률이 자체적으로 관리하고 있는 부식률과 대부분 비슷하게 나타나서 K-RBI 프로그램의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

3.3. 설비의 손상메카니즘 분석

고정설비 및 배관에서 활성중인 손상메카니즘은 Fig. 11에서와 같이 유체흐름에 의한 두께감소가 대부분이었으며, 일부 설비에서는 저온에서 인성이 약해지는 저온 취성파괴가 발생되고 있었으나 정도가 미약한 것으로 나타났다. 그리고 외부부식의 경우 오스트나이트계 저합금강인 경우에 일부가 부식 형태를, 그리고 일부는 외부응력부식 형태를 나타내었다. 이때, 대부분의 손상메카니즘은 배관에서 주로 발생되었으나 배관의 경우에는 부식이 심각한 설비에 대해서만 두께측정과 같은 검사를 수행하고 있으며, 이외의 배관에서는 검사를 수행하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 향후 검사에



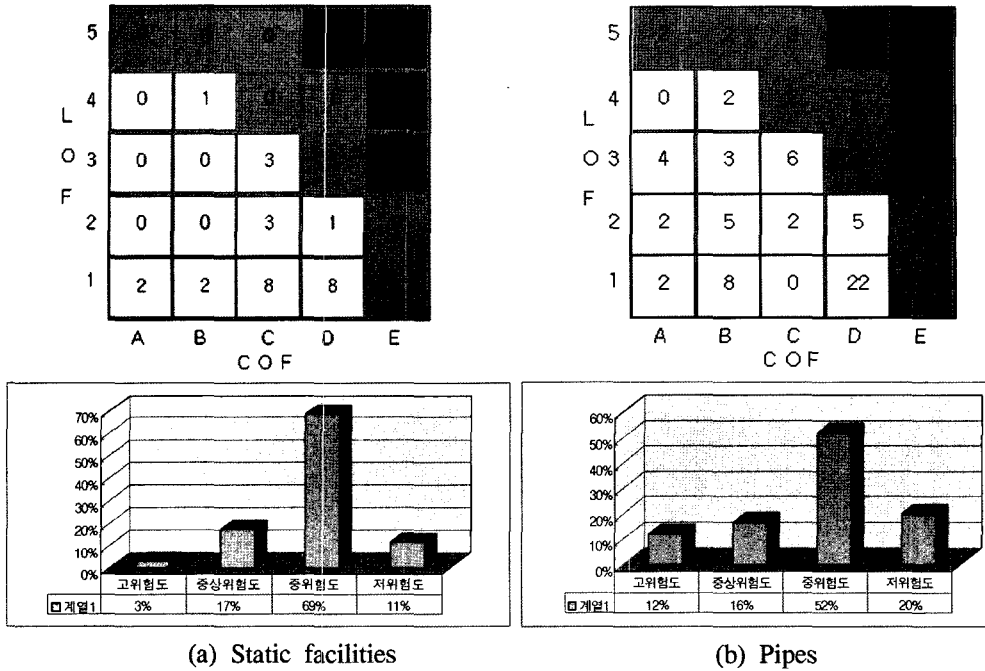


Fig. 10. Risk distributions of static facilities and pipes.

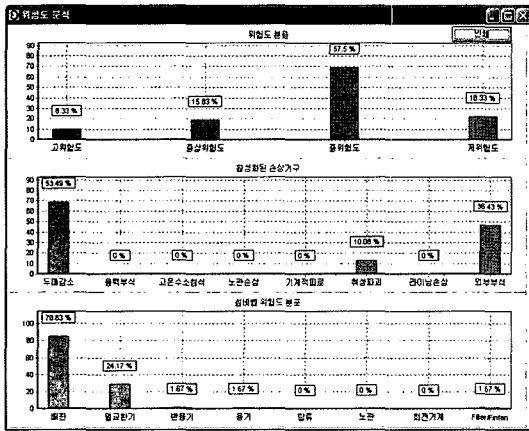


Fig. 11. Analysis of damage mechanism.

서는 배관에 보다 정확한 검사를 수행할 필요성이 요구되었다.

### 3.4. 설비의 검사주기 변경

손상메카니즘을 통해 설비들의 잔여수명을 예측할 수 있었으며, 설비의 상태와 위험도로부터 해당설비의 검사주기를 제시하였다. 즉, 검사주기는 고위험도 설비가 1~2년, 중상위험도 설비가 2~4년, 중위험도 설비가 4~6년, 그리고 저위험도 설비가 6~8이었다. 이때, K 공정에서 위험도와 검사요구 수준에 의해 결정된 설비들의 검사주기는 Table 2 및 Fig. 12와 같으며, 가장 많은 설비들의 검사주기는 6년으로, 배관이 29개이고, 고정설비가 20개이었다. 특히, 고정설비의 경우 현재 2년 주기로 검사를 수행하고 있으나 RBI를 수행한 결과, 1개 설비를 제외한 고정설비의 검사주기를 4~8년으로 연장할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 배관의 경우에는 일정한 검사주기로 검사를 수행하지 않고 있으나 향후에는 제시된 검사주기로 검사를 수행함으로써 설비에 대한 신뢰도를 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. Inspection frequencies of the facilities suggested by K-RBI program.

Inspection frequency(yr)	1	2	3	4	5	6	8	Total
Static facilities	1	0	0	4	6	20	4	35
Pipes	10	6	4	6	13	29	17	85

## 화학설비의 안전성 향상을 위한 위험기반검사의 적용

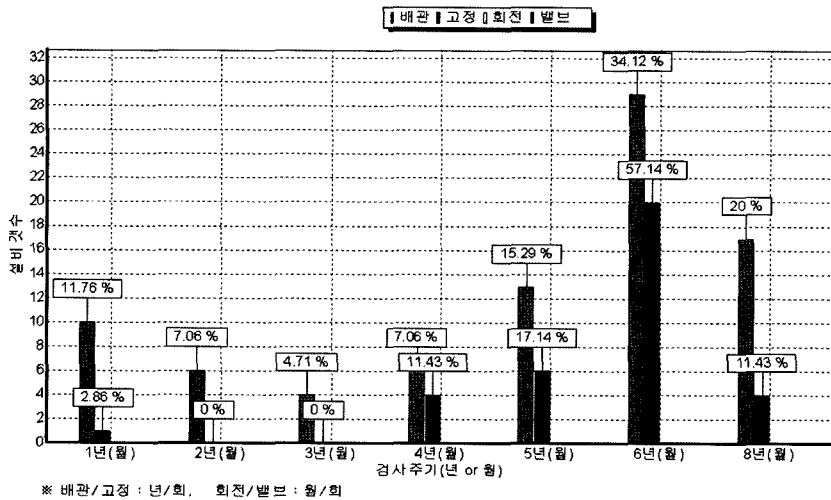


Fig. 12. Distributions of the suggested inspection frequencies of the facilities.

따라서 검사주기 연장으로 검사비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 설비의 검사이력을 데이터화하고, 전산화함으로써 업무효율을 증대시킬 수 있을 것으로 예측된다.

### IV. 결 론

화학설비의 안전성을 향상시키기 위하여 API-581 절차에 따라 국내실정에 맞도록 개발한 한국형 위험기반 검사 프로그램을 화학설비에 적용하였다. 그 결과, 적용 사업장의 자체 안전관리 수준평가, 적용 대상공정의 위험도, 고정설비와 배관의 위험도, 그리고 설비의 손상메카니즘을 알 수 있었으며, 공정 위험도와 설비상태로부터 설비의 검사주기를 제시할 수 있었다.

따라서 검사주기를 확장함으로써 비생산적인 검사 활동 및 인건비 절감, 과학적인 검사방법에 의한 검사주기 연장 등으로 인한 정비용의 절감효과가 예상되었다. 또한 생산성 향상, 원가절감, 검사주기 연장 등의 직접적인 효과와 더불어 설비 신뢰도 향상, 설비의 유지·보수 및 이력관리의 전산화 등을 실현할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] Lees, F. P., "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworths, London, (1980)
- [2] Kletz, T. A., "What Went Wrong?", Gulf Publishing Co., Houston, TX, (1986)
- [3] API, "Based Resource Document of Risk Based Inspection : API-580", American Petroleum Institute, New York, (2001)
- [4] CRTD/ASME, "Risk-Based Inspection - Development of Guidelines", American Society of Mechanical Engineers, CRTD-20-1, New York, (1991)
- [5] API, "Risk-Based Inspection - Basic Resource Document : API-581", American Petroleum Institute, New York, (2000)
- [6] KOSHA, Development of K-RBI Program II, Korea Occupational Safety & Health Agency, Technical Manual, (2005)
- [7] 이현창, 신평식, 임대식, 김태옥, "한국형 위험기반 검사(K-RBI)의 절차 개발", 한국안전학회지, 21(3), 31-37, (2006)
- [8] 노동부, "공정안전관리 이행수준의 평가", 산업안전보건법 시행규칙 제73조 제3의 3항, (2004)