

K-RBI(한국형위험기반검사) 프로그램 소개

황 영 규 · 한국산업안전공단 전문기술실, 차장/기술사

_e-mail : h4023@kosha.net

이 글에서는 설비별 위험도를 정량적으로 산출하고 위험도 순위에 따라 검사·유지보수의 우선순위를 결정하여 위험설비를 집중적으로 관리함으로써 설비의 안전성 확보와 자율안전 관리를 정착시키기 위해 설비의 위험도에 근거한 검사항목, 검사방법 및 검사주기 등을 제시해 줄 수 있는 국내 실정에 맞는 한국형위험기반검사(K-RBI) 프로그램에 대해 소개한다.

위험기반 검사(RBI; Risk Based Inspection) 기법은 미국기계학회(ASME)의 비행기 제트엔진과 원자력의 위험도를 정량적으로 분석하기 위해 처음으로 시도된 이래, 미국석유협회(API; American Petroleum Institute)를 중심으로 석유화학공업 분야로 발전하여 가장 활발하게 연구되고 있다. 또한 석유화학공업의 설비 안전도 점검에 맞는 이론개발과 원도 기반 컴퓨터 프로그램(Windows based computer program)을 개발·활용하고 있으며, 이 기법은 최근 미국, 유럽 등의 선진국을 중심으로 급속히 발전하여 보급되고 있다.

한국형위험기반검사(K-RBI)는 설비별 위험도를 정량적으로 산

출하고 위험도 순위에 따라 검사·유지보수의 우선순위를 결정하여 위험설비를 집중적으로 관리함으로써 설비의 안전성 확보와 자율안전관리를 정착시키기 위해 설비의 위험도에 근거한 검사항목, 검사방법 및 검사주기 등을 제시해 줄 수 있는 국내 실정에 맞는 위험기반검사 절차로 프로그램을 개발하였다.

K-RBI 개요

위험기반검사에서는 그림 1과 같이 한 개의 공장에 있는 여러 개의 공정에 대한 검사 우선순위를 결정하는 공정의 위험도계산 단계와 각 공정에 있는 개별 설비에 대한 위험도를 산출하여 설비의 검사 우선순위를 결정하는

단계로 구분되며 위험도를 토대로 검사주기, 검사방법 등을 결정하는 검사계획이 최종적으로 수립된다.

공정의 위험도는 사고발생 가능성, 설비손상피해, 건강피해로 구분하고, 설비손상 피해와 건강피해 중 큰 등급의 피해 크기를 사고피해 크기의 등급으로 결정한다. 이때, 사고발생 가능성은 설비계수, 손상계수, 검사계수, 상태계수, 공정계수 그리고 설계계수에 의해 결정되며, 설비손상 피해는 화학물질계수, 물질량계수, 상태계수, 발화계수, 압력계수 그리고 신뢰도계수에 의해 결정된다. 건강피해는 독성계수, 분산계수, 신뢰도계수 및 인구계수에 의해 결정된다.

이와 같이 결정된 발생가능성

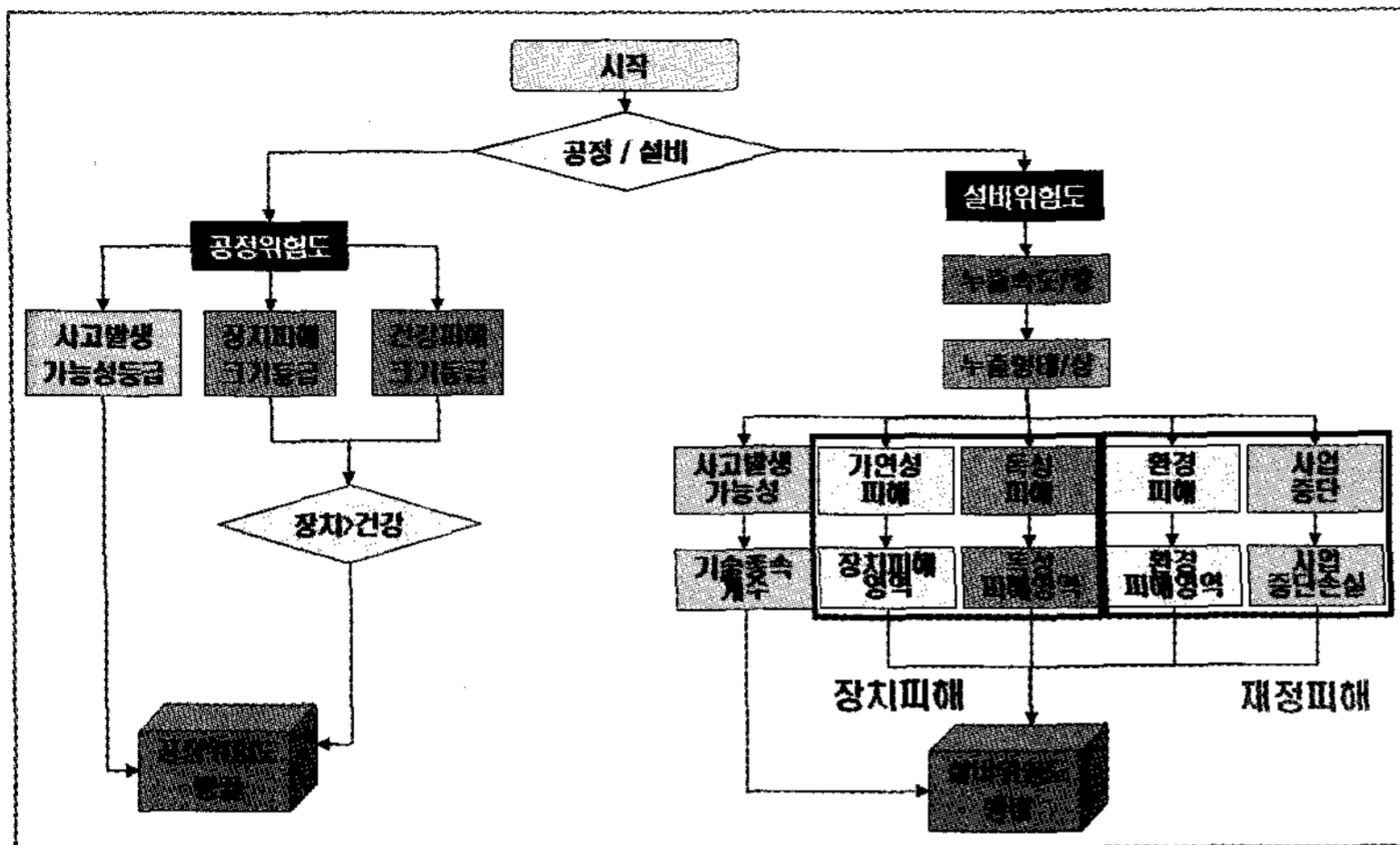


그림 1 K-RBI 프로그램의 알고리즘

장치변형인자			
기술종속계수	일반계수	기계계수	공정계수
> 손상율 > 검사 유효성	> 공장조건 > 날씨조건 > 지진활동	> 장치복잡성 > 배관복잡성 > 연결점 > 주입점 > 가지배관 > 밸브 > 설계조건 > 수명주기 > 안전계수 > 압력 > 온도 > 진동감시계수	> 연속성 > 정상정지 > 비정상정지 > 안정성 > 안전밸브 > 유지프로그램 > 오염정도 > 청결정도

그림 2 장치변형인자

등급과 피해크기 등급을 이용하여 행렬에 각각 세로와 가로에 나타내어 정성적 위험도를 결정한다. 설비별 검사의 우선순위를 결정하는 설비위험도를 산출하기 위한 누출시나리오(s)별 위험도 (Risk)는 사고발생 가능성과 사고피해 크기의 곱으로 식 (1)과 같이 나타낸다.

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

LOF=Likelihood of Failure
 COF=Consequence of Failure

여기서 s는 누출시나리오, Risk는 누출시나리오에 대한 위험도를 나타낸다. 이때 사고발생가능성은 각 설비의 일반 고장발생빈도와 설비변경계수 그리고 관리시스템평가계수로부터 산출된다. 설비변경계수는 각 설비의 운전 또는 조건과 관련된 기술종속계수, 보편적 종속계수, 기계적 종속계수 그리고 공정 종속계수로부터 결정되며, 각 계수들은 그림 2와 같이 세부 항목들로부터 결

정된다.

관리시스템평가계수는 유해물질의 누출을 방지하고 공정설비의 기계적 건전성을 유지하는 데 영향을 주며, 1,000점(100%) 만점으로 평가하는데, 이 값을 인자로 변화하여 설비들의 상대적 위험도를 바꾸는 것이 아니라 전체 설비들의 절대적인 위험도를 높이거나 낮추는 데 사용된다.

사고결과의 크기는 대표유체 및 유체의 특성결정, 누출공 선택, 유체의 총 누출량 또는 누출 속도 산출, 확산 및 피해크기의 결정을 위한 유형 결정, 유체의 최종상태 결정, 누출 후 반응 영향 평가 그리고 누출에 의해 잠재적으로 영향을 받는 영역으로 평가되거나 운휴 또는 환경정화로 인한 누출 피해비용으로 산출된다.

위에서 산출된 각 설비에서 최종 위험도는 설비의 모든 누출시나리오에 대한 합으로서 식 (2)와 같이 표현된다.

$$(Risk)_{Equipment} = \sum_{i=1}^s (Risk)_i \quad (2)$$

이와 같이 K-RBI는 위험도를 정성적(qualitative) 또는 정량적(quantitative)으로 평가하여 전체 설비 위험도의 대부분을 차지하고 있는 20% 내외의 대상설비를 찾아내어 이에 대해 최적의 방법으로 인적·물적 자원을 투입함으로써 효율적인 안전성 확보와 함께 유지관리의 경제성을 추구하는 기법이라 할 수 있다.

수행 절차

K-RBI는 수행하고자 하는 대상공정의 검사 우선순위를 결정하는 정성적 RBI와 대상 공정에 대한 각 설비별 위험도를 산출하여 설비의 검사 우선순위를 결정하는 정량적 RBI로 구분된다. 정성적 RBI는 정량적 RBI의 수행에 앞서 가혹한 환경에서 노출되어 상대적으로 타 설비에 비해 높은 위험을 갖는 설비나 공정을 대략적으로 찾는 데 사용하는 방법으로 사업장의 안전관리수준평가를 산업안전보건법에 의해 시행중인 공정안전관리제도(PSM; Process Safety Management)에서의 안전관리 이행수준 평가 방법으로 대체하여 설비의 사고발생확률에 적용하고, 공정위험도분석을 이용하여 RBI 수행공정을 선택하여 설비별 위험도 분석에 적용한다.

정량적 RBI는 공정별 DB에 포함된 공정 데이터와 설비 데이터를 가지고 접근한다. 어떠한 누출이 발생하고, 그 누출이 어떠한 상황으로 진전되는지를 결정하기 위해 여러 가지 지정된 누출 시나리오를 고려하고, 각각의 시나리오에 대해 위험도를 결정하고 결정된 위험도의 합이 그 설비의 최종 위험도가 된다.

상세한 RBI 절차는 그림 3에서와 같이 Step1 ~ Step6의 순으로 진행되며, 공정 및 설비에 대한 위험도를 산출하기 위해 전문

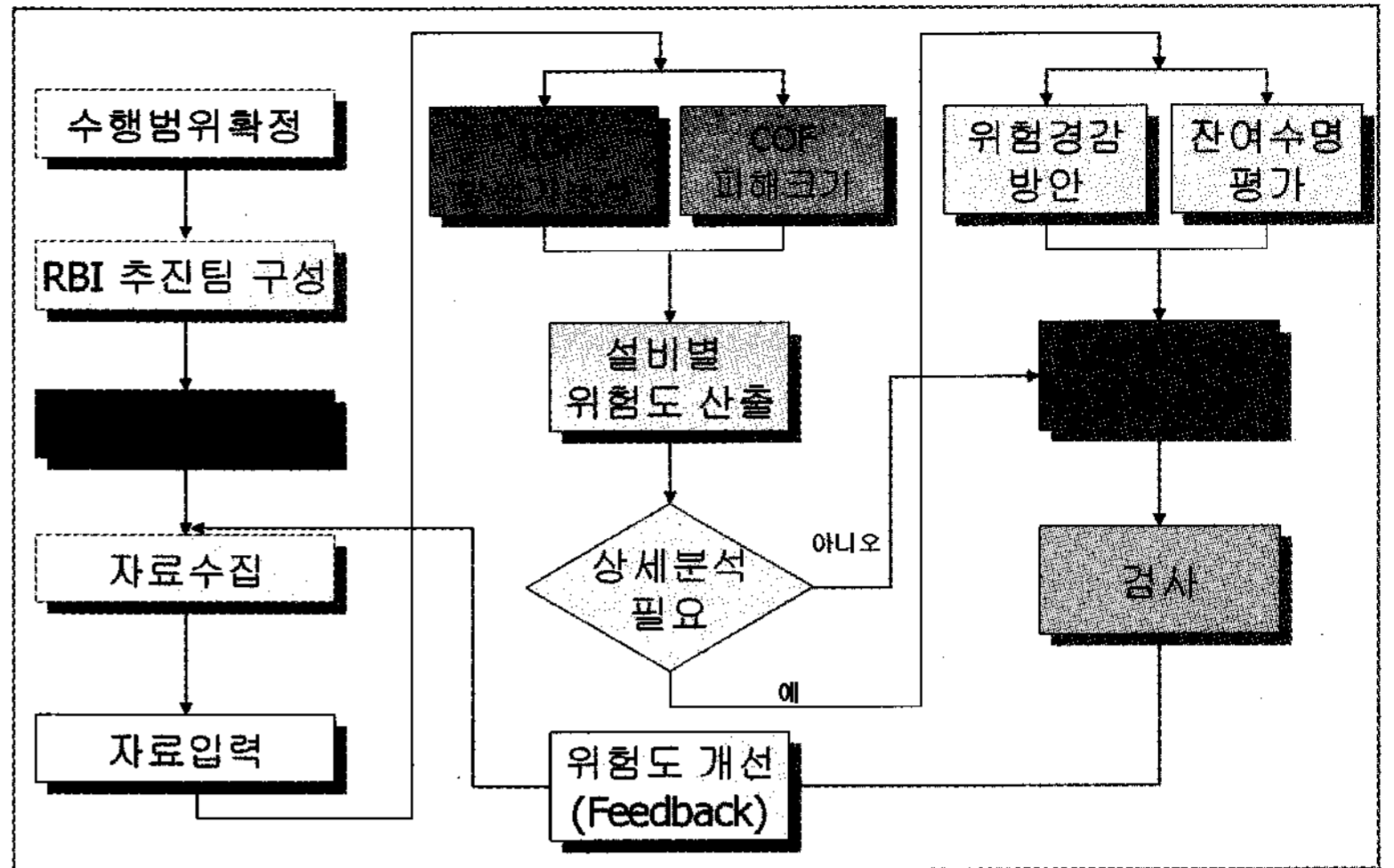


그림 3 RBI의 절차

가들로 구성된 RBI 수행팀을 구성하고, 이 팀은 데이터 취득을 위한 시스템화를 통해서 구간을 정의하고, 시스템화로부터 설정된 설비의 데이터를 취득하게 된다.

이때, K-RBI 프로그램의 적용이 가능한 설비는 배관, 고정설비, 회전설비 및 밸브이며, 얻어진 데이터를 K-RBI 프로그램에 입력함으로써 설비의 위험도를 산출하고, 검사 우선순위, 검사주기, 검사방법 등을 결정할 수 있다.

- [Step1] RBI 팀 구성 과정
 - [Step2] 시스템화(Systemization) 과정
 - [Step3] Data 수집/분석/입력 과정
 - [Step4] 위험도계산 과정
 - [Step5] 설비별 검사계획수립 과정
 - [Step6] 검사결과 피드백(feed back) 과정
- 이와 같이 K-RBI는 구성 요소

별로 위험도를 정량적으로 평가한 후 위험도가 높은 부품이나 설비에 우선순위를 두어 검사업무를 추진함으로써 위험도가 높은 소수의 설비에 대해 최적의 방법으로 인적, 물적 자원의 집중적인 투입이 가능하게 하는 과학적인 기법이라 할 수 있다.

K-RBI 프로그램

K-RBI는 API-581의 절차를 바탕으로 국내 실정에 맞는 종합알고리즘을 작성하고, 그림 4와 같이 관리모듈(management module), 입력/수정모듈(input/edit module), 엔지니어링모듈(engineering module), D/B모듈(database module), 위험도산출모듈(risk calculation module), 유지보수이력모듈(maintenance module), 검사계획모듈(inspection module), 출력모듈

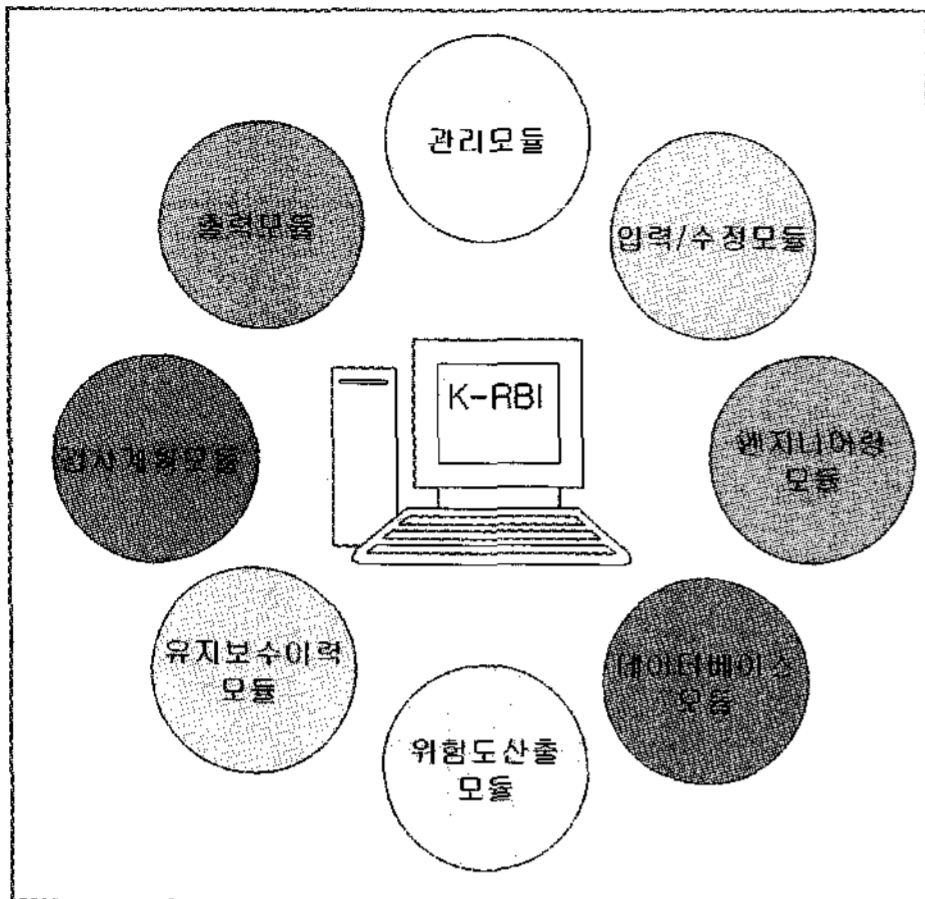


그림 4 K-RBI 프로그램 모듈

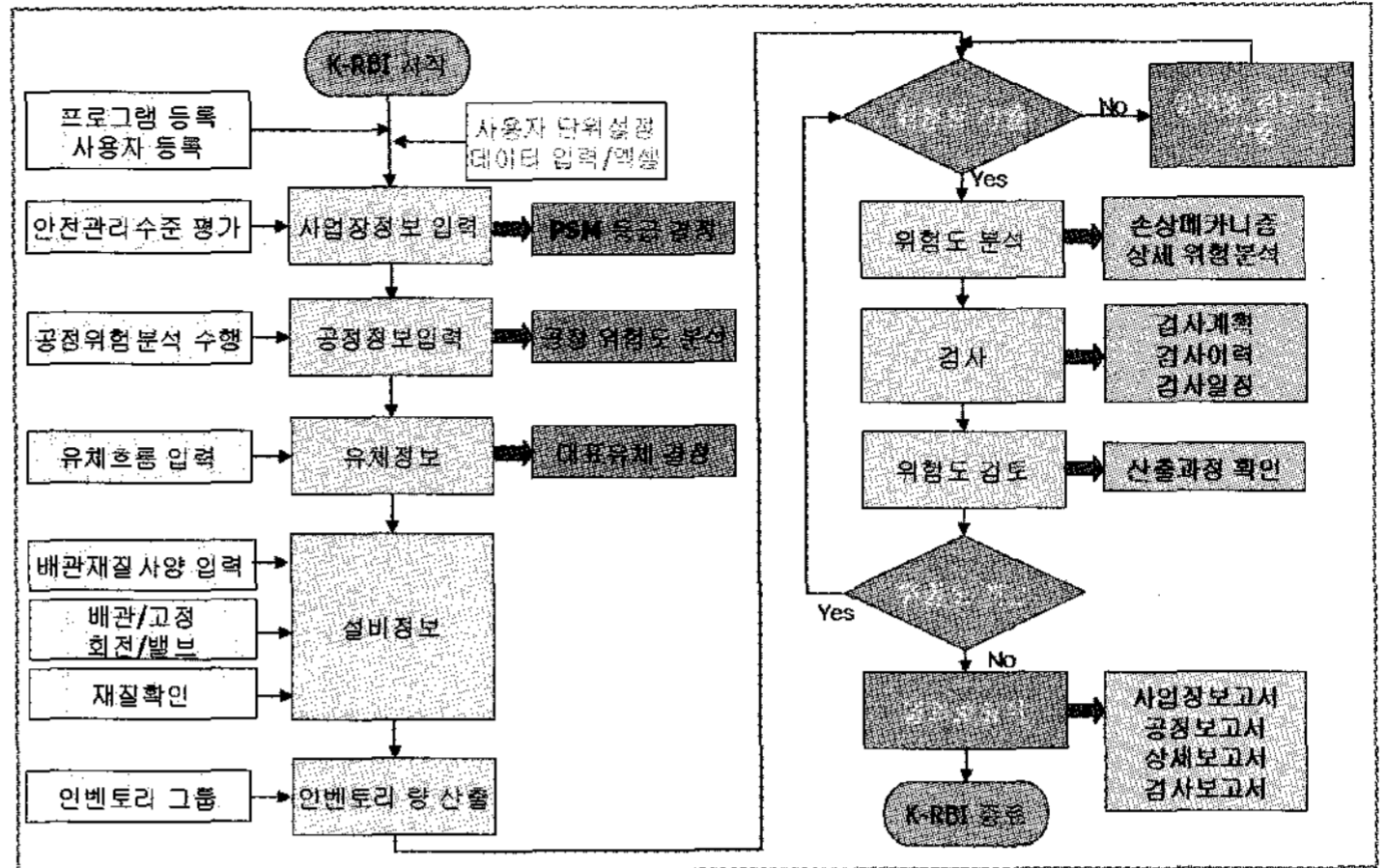


그림 5 K-RBI 프로그램 절차

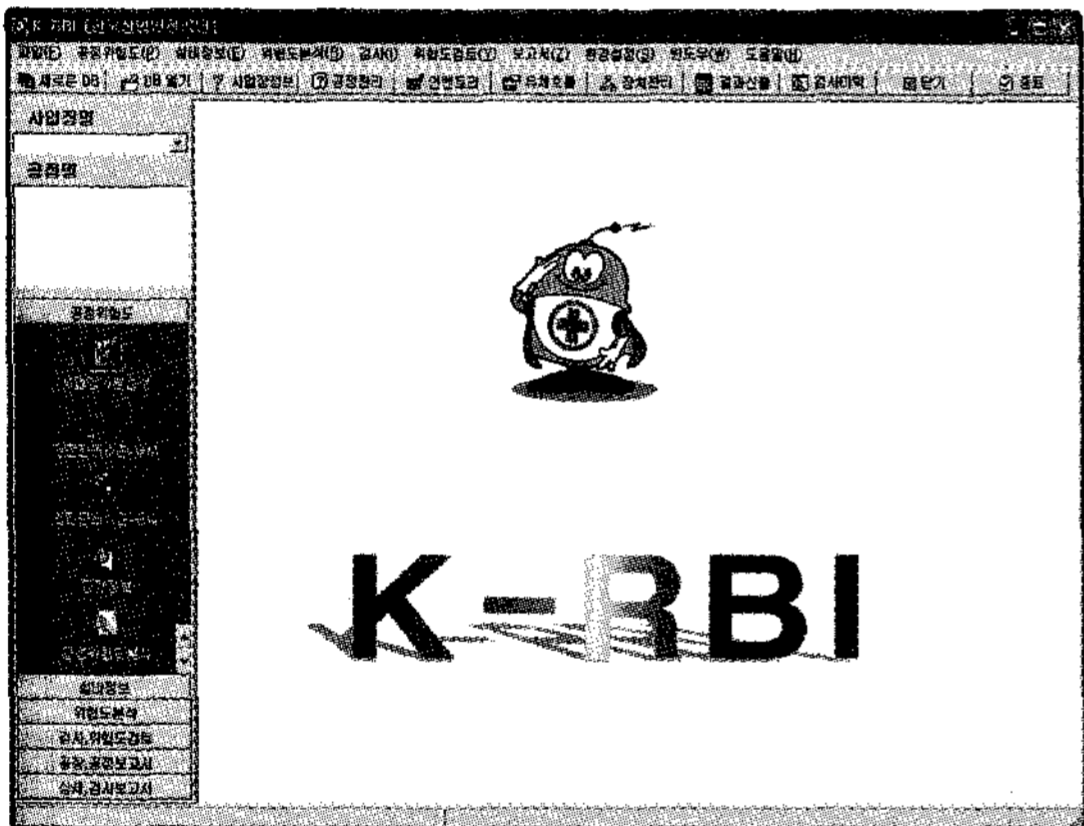


그림 6 K-RBI 프로그램 메인 화면

유체번호	유체명	HCl(CI-)	산소/산화물	Sulfur	TAN	H2S	탄화수소	H2SO4산
100	MIXED-C4	0		0	0	0		0
수정	RF-1	32%		0	0	0		0
210	ACN	0		0	0	0		0

그림 7 K-RBI 위험도 분석

(output module) 등 8개 모듈로 구성하여 실행되도록 하였다.

K-RBI 프로그램의 실행 절차는 그림 5와 같이 공정에 대한 정보를 입력 후 인벤토리 그룹(Inventory Group)을 정의하고, 유체 및 설비의 정보를 Excel 프로그램에 입력하여 인벤토리 량을 계산하여 설비의 위험도를 분석한다.

이와 같은 절차에 따라 K-RBI를 수행하는 메인화면은 그림 6과 같이 주메뉴, 단축아이콘, 패널, 아

웃록메뉴 그리고 실행창으로 구성하였다. 설비에 대한 위험도 분석은 그림 7과 같이 입력된 데이터에 대해 계산을 수행한다. 그림 8은 각 공정에 대한 상세한 위험도를 나타내며, 그림 9는 공정에 대한 위험도 분포를 나타내고 있다.

한국산업안전공단이 개발한 K-RBI 프로그램은 비전문가도 사용이 가능하도록 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 미국부식협회(NACE)의

부식률 자료를 DB화하였다.

277종 이상의 화학물질 및 미국재료시험협회(ASTM) 재질에 대한 DB를 구축함으로써 부식률 산출 및 잔여수명을 산출할 수 있는 기능을 구축하였다.

둘째, 재료규격을 DB화하였다. ASTM, KS, JIS, DIN의 재질을 DB화함으로써 상호 호환이 가능하도록 하였다.

셋째, 자료입력을 간편하게 하였다.

K-RBI **설비별 위험도** **KOSHA**

공장명 : 삼풍

번호	설비명	직경	두께	길이	재료	유형번호	유형명	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM7	DM8
1	P-ACH-0005 Pipe-10	10	1.850	40	Carbon Steel	210	ACN	0	0	0	0	0	0	1	0
2	P-ACH-0101 Pipe-10	10	1.850	50	Carbon Steel	210	ACN	0	0	0	0	0	0	1	0
3	P-HC-0002 Pipe-10	10	1.50	8	Carbon Steel	100	MDED-C4	1	0	0	1	0	0	0	0
4	P-HC-0003 Pipe-12	12	1.677	2	Carbon Steel	110	MDED-C4	1	0	0	0	0	0	1	0
5	P-HC-0005 Pipe-4	4	0.874	5	Carbon Steel	100	MDED-C4	1	0	0	0	0	0	0	0
6	P-HC-0006 Pipe-6	6	0.978	5	Carbon Steel	100	MDED-C4	1	0	0	0	0	0	0	0
7	P-HC-0005 Pipe-12	12	1.677	80	Carbon Steel	110	RP-1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	P-HC-0018 Pipe-6	6	0.978	30	Carbon Steel	110	RP-1	1	1	0	0	0	0	0	0
9	P-HC-0017 Pipe-1	1	0.192	30	Carbon Steel	110	RP-1	1	1	0	0	0	0	0	0
10	P-HC-0127 Pipe-1	1	0.192	10	Carbon Steel	100	MDED-C4	10	0	0	0	0	0	0	0
11	P-HC-0108 Pipe-2	2	0.290	70	Carbon Steel	110	RP-1	1	1	0	0	0	0	0	0

DM1:유류검출 DM2:공정부동수준 DM3:고온수온 DM4:노후도 DM5:공정변동 DM6:공정불량 DM7:20년이상 DM8:부동수준

Page:1

그림 8 상세 위험도 분석

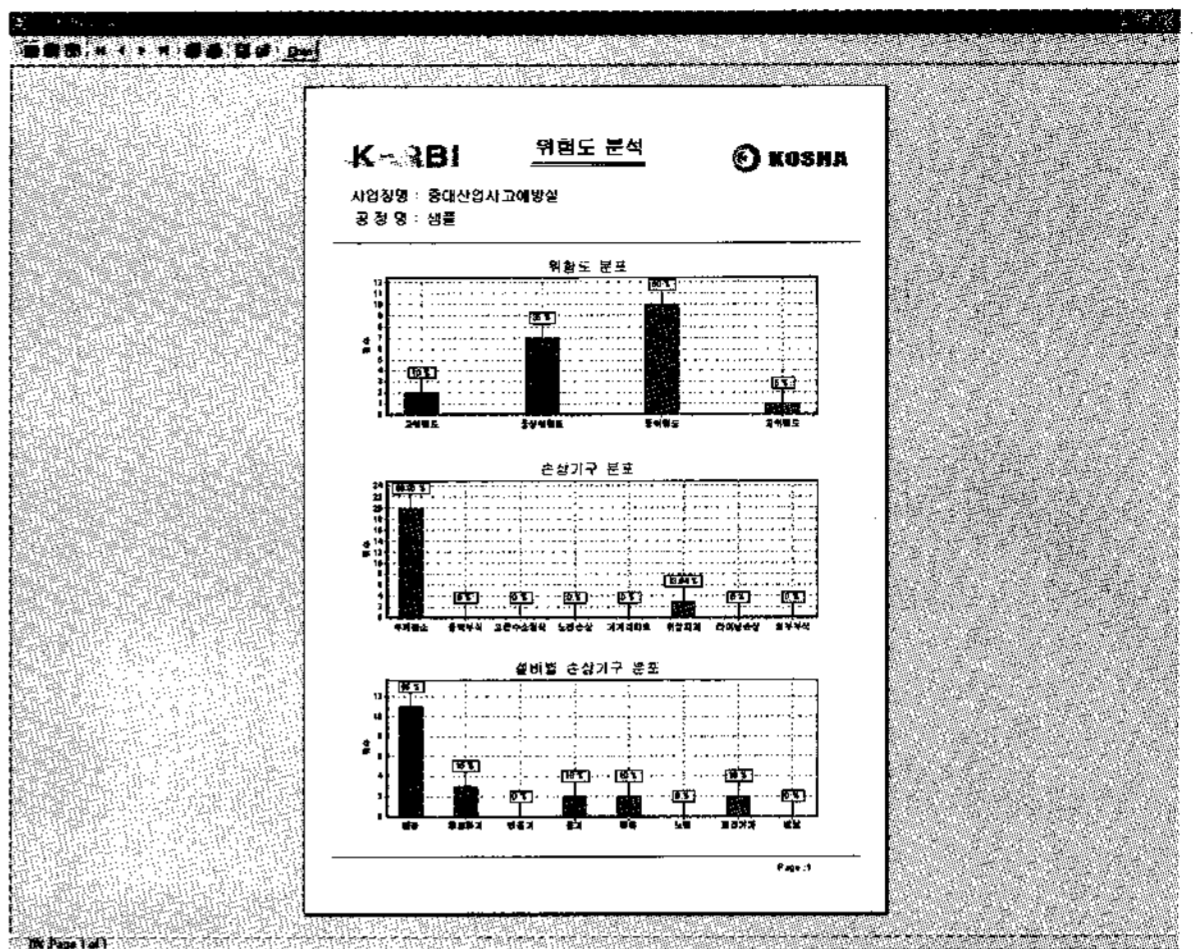


그림 9 위험도의 분포

Excel 프로그램을 이용한 데이터 일괄 입력기능, 정확한 데이터를 입력할 수 있게 하기위한 입력 항목의 도움말 기능, 위험도 산출 오류를 예방하기 위한 입력 데이터의 필터링 기능 및 화학물질, 재질, 인벤토리 등을 간편하게 선택할 수 있는 찾기 기능 등을 구축하였다.

넷째, 상세한 위험도 분석이 가능하게 하였다.

프로그램상의 계산과정을 확인할 수 있는 감사(audit) 기능 및 분석된 결과값을 기능별로 나타내어 초보자도 쉽게 이해할 수 있도록 하였으며 GUI를 이용하여 결과를 빨리 이해할 수 있도록 시각화 하였다.

다섯째, 다양한 보고서 기능이 가능하게 하였다. 공장보고서(안전관리수준/RBI수행/공정위험도 비교), 공정보고서(공정위험도행렬/설비위험도분포/위험도분석),

상세보고서(유체정보/설비정보/설비위험도/설비상세위험도), 검사보고서(검사보고서/검사일정/검사이력) 등 다양한 보고서를 출력할 수 있도록 하였다.

맺음말

K-RBI 프로그램은 공정위험도 분석 시 국내 산업안전보건법에 의한 공정안전보고서제도(PSM)의 이행수준평가 시 사용하는 안전관리수준평가 내용을 반영도움으로써 사용자의 중복 작업을 피하였고 공정 및 설비에 대한 부식을 자료가 거의 없는 국내실정에서 미국부식협회(NACE)의 부식률 자료를 DB화함으로써 잔여수명을 산출할 수 있도록 하였고, KS 및 JIS 규격을 많이 사용하는 상황에서 KS와 JIS뿐만 아니라 ASTM, DIN으로 상호 호환되도록 하였고, 메뉴 및 입력내용을

가능한 국문으로 하여 사용자의 편의성을 도모하도록 하였으며, 개발된 K-RBI 프로그램을 국내 사업장에 보급하여 적용함으로써 막대한 양의 외화와 경비를 절감하는 등 다음과 같은 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

- (1) 프로그램을 국내 사업장에 보급하여 비생산적인 검사활동 제거 및 저 위험도 설비의 검사주기 연장에 의한 정비비용 절감
- (2) 공정의 안정 및 정비기간 단축으로 인한 생산성 향상, 원가절감
- (3) 위험도가 높은 소수의 설비를 집중 관리함으로써 위험도가 낮은 설비의 검사주기 연장에 의한 정비주기 변경 등의 직접효과
- (4) 설비의 신뢰도 향상, 검사 시스템의 개선, 회사의 인지도 제고 및 보험료 인하 등의 간접 효과