KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE
기술지원규정

위험기반검사(RBI) 기법에 의한 설비의 신뢰성 향상에 관한 기술지원규정

C-C-23-2026

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을 이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 제・개정경과
- 2009년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 2025년 11월 화학안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- API Publication 581, "Risk-Based Inspection Based Resource Document", First Edition, May 2000
- API RP 580, "Risk-Based Inspection", First Edition, May 2002
- API RP 571, "Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry", First Edition, Dec. 2003

○ 관련 법규・규칙・고시 등

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2026년 1월 30일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 위험기반검사의 개요 ····· 2

4.1 위험도 ····· 3

4.2 사고발생 가능성 ····· 3

4.3 사고피해 크기 ····· 3

5. RBI 수행 ····· 3

5.1 수행절차 ····· 3

5.2 RBI 수행 전 단계 : 1 단계 ····· 5

5.2.1 팀구성 ····· 5

5.2.2 시스템화 ····· 6

5.2.3 자료 수집 및 분석 ····· 9

5.3 위험성 평가 단계 : 2단계 ····· 11

5.3.1 자료 입력 ····· 11

5.3.2 위험 평가 ····· 12

5.3.3 위험등급 결정 ····· 13

5.3.4 검사이력 반영 ····· 13

5.4 상세 평가 단계 : 3단계 ····· 14

5.4.1 상세 평가 대상 선정 및 평가 ····· 14

5.4.2 위험경감 방안 ····· 14

5.5 검사계획 단계 : 4단계 ····· 16

5.5.1 검사계획 수립 개요 ····· 16

5.5.2 육안검사 판단기준 수립 ····· 16
5.5.3 손상메커니즘의 확인 ····· 16
5.5.4 검사부위 선정 ····· 19
5.5.5 검사효율 및 검사기법 ····· 21
5.5.6 검사주기 설정 ····· 22
6. 위험 관리 ····· 23
6.1 위험도 감소 ····· 23
6.2 설비관리 ····· 23
6.3 검사이력 전산화 ····· 24
6.4 부식지도 작성 ····· 24

위험기반검사(RBI) 기법에 의한 설비의 신뢰성 향상에 관한 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 유해·위험기계 등에서 설비의 안전성을 평가하고, 위험도에 근거하여 설비의 종합적인 검사계획을 수립하는 등 설비의 신뢰성 향상에 관한 기술적 사항을 제시하는 데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 규정은 「산업안전보건기준에관한규칙」 별표 7에서 정의한 화학설비 및 그 부속설비의 종류를 대상으로 한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용되는 용어의 뜻은 다음과 같다.

(가) “위험기반검사(Risk Based Inspection, RBI)”란 설비의 고장발생 가능성과 사고피해 크기의 곱에 의해 결정되는 위험도에 의해 검사의 우선순위를 결정하는 기법을 말한다.

(나) “고장발생 가능성(Likelihood of failure, LOF)”란 설비의 고장발생확률 및 고장발생빈도를 말한다.

(다) “사고피해 크기(Consequence of failure, COF)”란 사고에 의해 영향을 받는 장치 손상범위 또는 재정적 손실의 크기를 말한다.

(라) “손상메커니즘(Damage mechanism)”이란 설비를 손상시키는 부식 또는 기계적 작용을 말한다.

(마) 설비변경계수(Equipment modification factor, FE)”란 기술종속계수, 보편적 종속계수, 기계적 종속계수, 공정 종속계수에 의해 결정된 설비의 복잡성을 나타내는 인자를 한다.

(바) “관리시스템 평가계수(Management system evaluation factor, FM)”란 공정안전 관리시스템의 차이에 의해 일반 고장 발생 빈도를 보정하기 위한 인자를 말한다.

(사) “검사표준(Specific equipment inspection plan, SEIP)”이란 설비의 검사를 위하여 검사부위, 부식원인, 완화 및 예방, 감시 등을 표준화하여 검사에 대한 계획을 수립함을 말한다.

(아) “검출시스템(Detection system)”이란 화학물질의 누출 시간을 줄이기 위해 설치되는 감지기 등을 말 한다.

(자) “차단시스템(Isolation system)”이란 누출 량을 줄이기 위해 설치된 밸브 등을 말한다.

(차) “완화시스템(Mitigation system)”이란 위험물질의 누출 영향을 차단하고 줄이기 위해 설치되는 시스템을 말한다.

(카) “인벤토리 그룹(Inventory group)”이란 누출 설비에서 블록을 형성할 수 있는 구간에 속한 모든 설비를 말 한다.

(2) 그 밖에 이 기술지원규정에서 사용하는 용어의 뜻은 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한규칙」에서 정하는 바에 의한다.

4. 위험기반검사의 개요

(1) RBI는 검사 및 유지・보수 계획의 수립, 관리 그리고 시행에 위험성 평가를 이용하는 것이다. RBI는 각 설비별로 위험도에 입각한 검사계획을 수립하는 것이다.

(2) 설비별 검사계획은 안전・보건・환경과 경제성 관점에서의 위험도를 나타낸다. RBI는 또한 설비의 검사 및 유지 보수 기술의 향상과 기계고장으로 인한 위험도를 체계적으로 줄일 수 있도록 해준다.

(3) RBI에서는 정량화된 위험도를 제공함으로써 위험도 등급이 높은 경우 검사의 주기를 짧게 하며, 반대로 위험도 등급이 낮은 경우 검사의 주기를 연장함으로써 검사와 관련된 검사비용을 절감할 수 있도록 해주고 있다.

4.1 위험도

(1) RBI는 확률론적인 방법에 기초를 두고 있다. 즉, 위험도는 특정시간 동안 발생하는 사고발생 가능성(LOF)과 사람, 재산 및 환경에 미치는 피해의 정도를 정량적으로 나타내는 사고피해 크기(COF)의 곱(Matrix)으로 나타낸다.

(2) 위험도(Risk)는 인명의 손실, 설비의 파괴, 환경오염 등 사회·경제적인 위험까지 포함하고 있다.

4.2 사고발생 가능성

(1) 사고발생 가능성은 설비의 파손확률이나 파손횟수로서, 일반 사고발생 빈도에 설비변경계수(FE)와 관리시스템 평가계수(FM)를 곱하여 보정된 사고발생 빈도로 나타낸다.

(2) 설비변경계수는 단위공정들과 단위공정 내 설비 구성요소들 간의 차이를 반영하는 것으로, 설비의 해당부분에만 적용되기 때문에 각 설비와 그 설비가 운전되는 환경에 따라 영향을 받는다.

(3) 관리시스템 평가계수는 공장의 기계적인 건전성에 미치는 설비 관리시스템의 영향을 위해 적용된다.

4.3 사고피해 크기

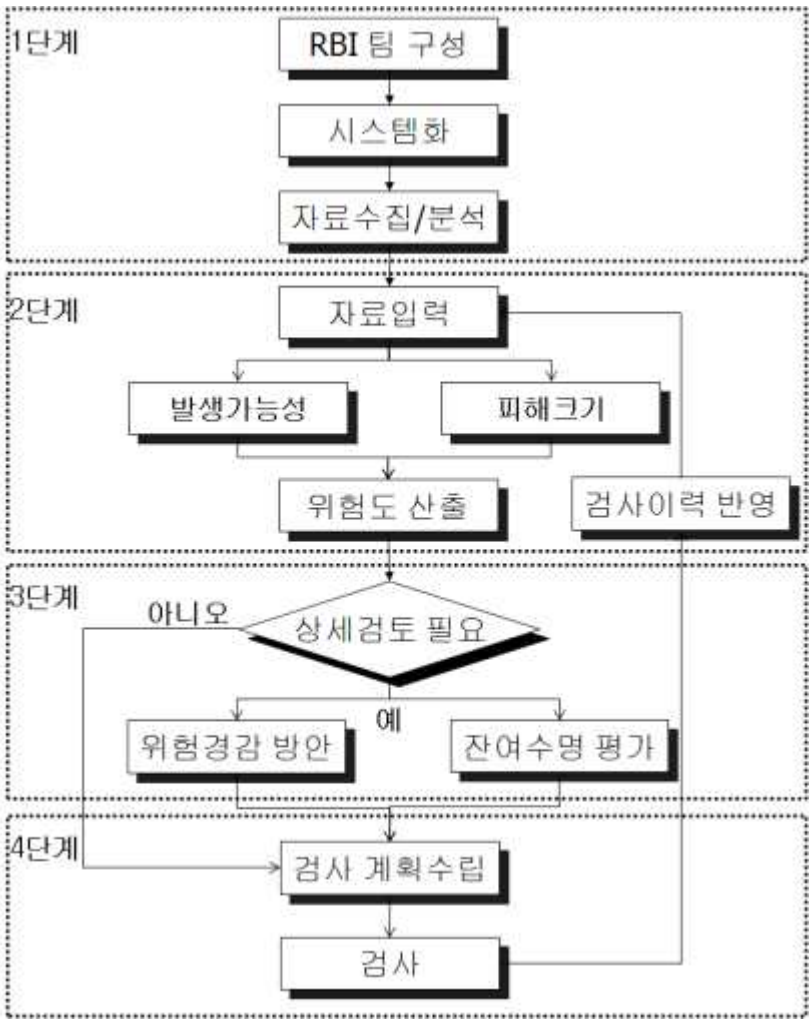
(1) 사고피해 크기의 예측은 위험에 근거하여 설비들에 대한 상대적인 등급을 책정하는데 도움을 주기 위해 실시된다.

(2) 사고피해 크기는 누출 시나리오를 작성하여 누출속도를 산출한 후 누출량과 확산을 고려하여 피해범위를 산정한다. 또한 완화조치는 설비 내의 검출시스템과 차단시스템의 형태에 따라 누출 지속시간과 피해크기를 일률적으로 변화시킨다.

5. RBI 수행

5.1 수행절차

(1) 위험기반검사에 의한 수행절차는 <그림 1>에서와 같이 RBI 수행 전, 위험성 평가, 세부 평가, 검사계획의 4 단계로 구분된다.



<그림 1> RBI 수행 절차

(2) 1단계(RBI 수행 전 단계)는 RBI를 수행하기 위한 팀 구성, 시스템화(P&ID 및 PFD에 유체정보 및 인벤토리 구간을 정의), 자료 수집/분석의 단계로 구성된다.

(3) 2단계(위험성 평가 단계)는 수집 및 분석된 자료를 RBI 프로그램에 입력하여 정성적인 방법 또는 정량적인 방법으로 개별 설비에 대한 위험도 산출하여 평가하는 단계이다.

(4) 3단계(상세 평가 단계)는 정량적으로 평가된 설비의 위험도를 기준으로 상세 평가가 필요한 설비에 대하여 설비의 위험경감 방안 수립 및 잔여수명(RUL)을 평가 수행하는 단계이다.

(5) 4단계(검사계획 단계)에서는 검사주기, 검사부위 및 검사방법 등을 정의하여 표준

검사계획(SEIP)을 수립하는 단계이다. 표준검사계획이 수립되면 검사계획보고서에 의해 유지·관리되며, 검사를 수행 후 2단계에서 검사이력을 반영하여 지속적으로 피드백(Feedback)될 수 있도록 한다.

5.2 RBI 수행 전 단계 : 1단계

5.2.1 팀 구성

팀책임자 및 팀구성원으로 RBI 팀을 구성하고, 팀구성원은 설비 및 기계 검사자, 재료 부식 전문가, 공정 기술자, 운전 및 정비 전문가, 위험성 평가 전문가로 구성한다. 또한 팀 구성원은 RBI 평가 경험자 또는 교육을 받은 전문가로 구성되어야 한다.

(1) 팀 책임자

(가) 위험설비의 운전 또는 검사에 충분한 경험과 지식을 겸비할 것

(나) RBI 팀을 조직화

(다) RBI 추진 진도관리 및 수집된 자료에 대한 정확도 검증

(라) 임의의 가정치에 대한 논리 확보 및 문서화

(마) 자료 수집 또는 가정치 설정을 자문하는 전문가 확보

(바) RBI 최종보고서 작성 및 보급

(사) 위험도 감소계획의 실행여부 확인 등

(2) 설비 및 기계 검사자

(가) 설비상태 및 운전조건에 대한 자료를 확보

(나) 재료 또는 부식 전문가와 함께 설비 상태를 예측

(다) 부식전문가와 함께 과거의 검사효율 평가

(라) RBI 추진결과의 검사계획서를 이행 등

(3) 재료부식 전문가

(가) 손상 또는 파손 메커니즘의 형태와 적용방법에 대한 평가

(나) 현재의 설비상태에 대한 평가

(다) 현재 상태와 예측치의 차이 발생 시 그 이유 규명

(라) 재질변경, 부식방지 물질 추가, 코팅 추가 등 사고발생가능성 감소방안 제시 등

(4) 공정 기술자

(가) 위험설비의 운전조건, 유체조성, 독성 및 인화성 등 공정 기술정보 제공

(나) 공정조건 변경 등을 통해 위험도 감소방안 제시 및 평가 등

(5) 운전 및 정비 전문가

(가) 운전변수들이 규정된 운전범위 내에서 운전되고 있는지 확인

(나) 검사원으로부터 제공된 검사결과 또는 설비상태에 적합하도록 정비 및 교체 등에 대한 평가책임과 결정된 정비방안 수행 등

(6) 위험성 평가 전문가

(가) RBI 분석에 필요한 자료를 이용하여 위험성을 분석 및 평가

(나) 자료 종류 및 정확도, 가정치 등의 결정

(다) 전산자료에 입력할 자료 확보

(라) 전산시스템의 운영 등

5.2.2 시스템화

RBI를 수행하기 위해서는 P&ID 및 PFD를 이용하여 시스템화를 수행하여야 한다. 시스템화에서는 인벤토리 그룹 설정, 인벤토리 그룹별 시스템 등급결정, 유체흐름 정의, 설비 구분 등을 정의하게 된다.

(1) 인벤토리 그룹

(가) 한 설비로부터 누출될 수 있는 유체 량의 상한선(Upper limit)을 정하기 위해 인벤토리(Inventory)를 사용하며, 인벤토리 그룹의 개념은 피해영역을 계산하는데 사용된다.

(나) 인벤토리 그룹 내의 모든 설비의 총 누출량은 인벤토리 그룹 하나의 계 내에서 압력설비(장치)에서 고장이 발생할 경우, 잠재적으로 누출될 수 있는 량으로 간주한다.

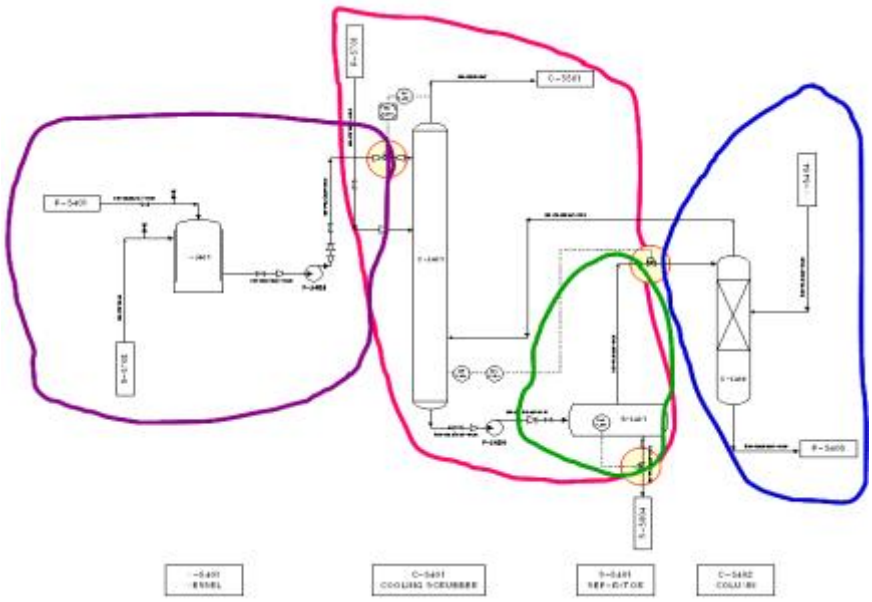
(다) 인벤토리 구간을 설정하는 기준은 아래와 같다.

① P&ID 상의 전동밸브(MOV: Motor operated valve)

② 제어밸브(Control valve) 및 비상시 차단 가능한 수동밸브

③ 원격 제어 가능한 펌프

(라) <그림 2>는 P&ID 상에 인벤토리 그룹을 나눈 예이다.



<그림 2> 인벤토리 그룹 예시

(2) 시스템 등급 결정

(가) 인벤토리 그룹 내에 주어진 검출 시스템, 차단시스템 및 완화시스템의 수준을 고려하여 등급을 부여한다.

(나) 인벤토리 그룹별 시스템의 등급 부여 기준은 <표 1>과 같다.

(3) 유체흐름 정의

(가) 유체의 영역은 함유 유체에서 화학 조성의 변화가 일어나는 곳에 의해 구분된다.

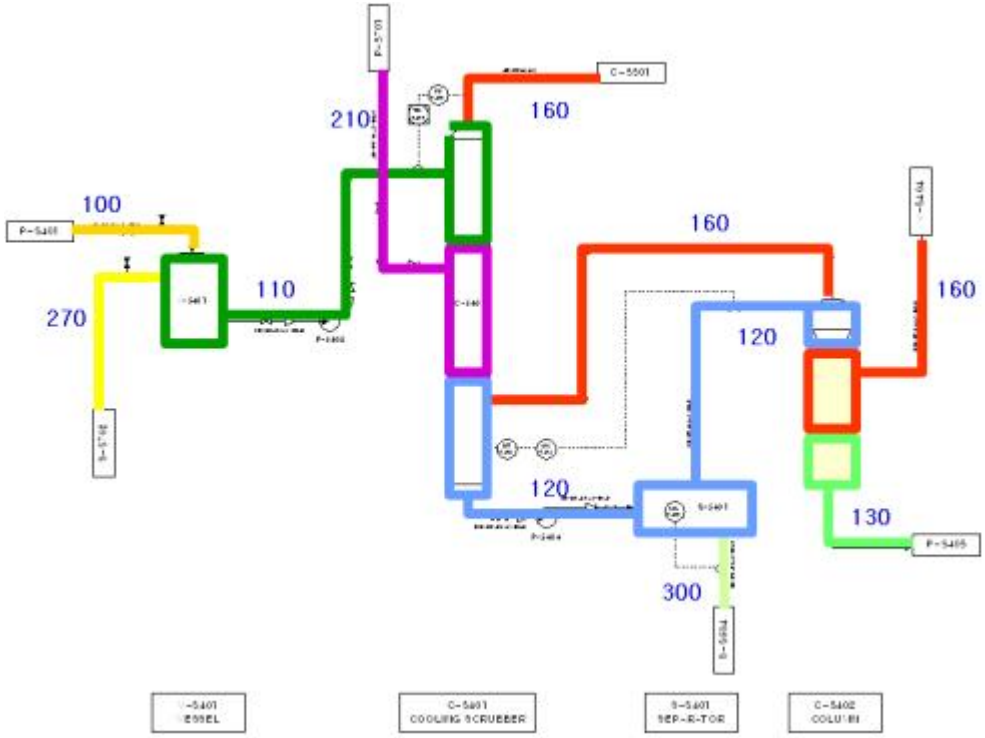
(나) 화학적 변화는 주로 공정용기, 열교환기, 로, 2개 이상의 흐름이 합쳐지는 배관, 부식억제제 주입되는 흐름 등에서 일어난다.

(다) 유체흐름에 따른 압력과 온도의 변화에 대해서는 개별 설비에 대해 온도와 압력이 입력되기 때문에 유체 흐름에서는 이를 반영하지 않아도 된다.

(라) <그림 3>은 유체흐름을 정의한 예이다.

<표 1> 검출 및 차단시스템의 등급 분류

검출시스템	차단시스템	등급
시스템 계기로 검출	완전자동 (시스템 상에서 자동 차단)	A
외부 시스템에 의한 검출	반자동 (운전자 제어에 의한 차단)	B
육안검출 및 카메라에 의한 검출	수동	C



<그림 3> 유체흐름 정의 예시

(4) 설비구분

(가) 동일한 설비 일지라도 상(Phase) 분리, 서비스 유체, 재질 등에 의해 손상메커니즘에서 차이가 발생될 수 있는 경우 설비를 세분화 하여야 한다.

(나) 타워류와 같은 경우 상 분리를 기준으로, 열교환기의 경우 서비스 유체를 기준으로 설비를 상세 분류하여야 한다.

5.2.3 자료 수집 및 분석

(1) 요구자료

자료를 습득하기 위하여 아래의 항목을 근거하여 자료를 취득할 수 있다.

① 공정 설명서(Process description)

② PFD(Process flow diagrams)

③ P&ID(Piping & Instrumentation Diagrams)

④ 공정흐름데이터(Process stream data)

⑤ 배관 사양(Piping specification)

⑥ 재질 자료(Materials of construction)

⑦ 설계 기초자료(Design assumptions & information)

⑧ 배관 목록(Pipe line list)

⑨ 설비 데이터시트(Equipment data sheets)

⑩ 검사 및 유지관리 기록(Maintenance, inspection records)

⑪ 수리 및 변경 기록(Repair and modification records)

⑫ 용기 피복 및 보온 사양(Vessels coating and insulation specifications)

⑬ 기타 설비 관련 자료 등

(2) 유체 자료

(가) 입력하여야 할 유체의 정보는 유체번호, 유체명, HCl(Cl-), 산소/산화제, Sulfur, TAN, H2S, 탄화수소, H2SO4, HF, NH3, MEA, DEA, MDEA, 열안정 아민염, CO2, NaOH, 수분, CO3, H2, 실제유체, 몰분율이다.

(나) 유체번호는 5.2.2항의 (3)호에 의해 정의된 유체번호를 입력하여야 한다.

(3) 설비자료

(가) 배관, 용기, 회전기계, 밸브에 대하여 자료를 입력하여야 한다.

(나) 배관의 입력 자료는 설비번호, 설비형태, 운전개시일, 인벤토리, 유체번호, PFD, 연결설비, 배관 스펙, 직경, 길이, 사용압력, 사용온도, 유속, 상, 액체 %, 측정 부식률, 측정두께, 최종 검사일, 온라인 감시 유형, 플랜지 수, 주입점 수, 가지배관 수, 밸브 수, 배관/이음쇠, 설계유형, 데드레그(Deadleg) 존재, 후열처리 여부, 강판의 황 함량,

피로파괴 횟수, 진동 심각도, 진동 지속주기, 반복응력 발생원, 교정장치, 배관상태, 비정상 운전조건, 비정상 온도, 라이닝 유형, 라이닝 조건, 외부부식 조정자, 보온재, 보온상태, 증기배출 여부, 라이닝, 후열처리(PWHT) 여부 등이다.

(다) 용기의 입력 자료는 설비번호, 설비형태, 운전개시일, 인벤토리, 유체번호, P&ID, 연결설비, 물질재질, 직경, 길이, 최소두께, 실제두께, 설계압력, 설계온도, 입구압력, 입구온도, 출구압력, 출구온도, 유속, 상, 액체%, 측정 부식률, 측정두께, 부식허용여유, 최종 검사일, 온라인 감시, 안전밸브 수, 노즐 수, 후열처리 여부, 강판의 황 함량, 과열의 심각도, 과열 지속시간, 비정상운전조건, 비정상 온도, 라이닝 유형, 라이닝 조건, 외부부식 조정자, 보온재, 보온상태, 증기배출 여부, 라이닝, PWHT 여부 등이다.

(라) 회전기계의 입력 자료는 설비번호, 설비형태, 운전개시일, 인벤토리, 유체번호, P&ID, 연결설비, 물질재질, 직경, 길이, 설계압력, 설계온도, 압력, 온도, 유속, 상, 액체%, 최종 검사일, 온라인 감시, 강판의 황 함량, 비정상운전조건, 비정상 온도, 라이닝 유형, 라이닝 조건, 보온재, 보온상태, 증기배출 여부 등이다.

(마) 밸브의 입력 자료는 설비번호, 설비형태, 운전 개시일, 인벤토리, 유체번호, P&ID, 연결설비, Body재질, Sheet재질, Spring재질, Bellows재질, 설계압력, 설계온도, 운전압력, 운전온도, 설정압력, 측정부식률, 측정두께, 부식허용여유, 최종 검사일, 밸브 타입 등이다.

(4) 자료 분석

(가) 자료 분석은 평가대상 설비요소에 대한 설계, 제작, 사용조건 및 검사프로그램 등을 완벽하게 설정해야 한다.

(나) 분석결과가 정확하고, 재현이 가능하며, 현재 분석으로부터 다음 분석에 이르기까지 일관성을 유지할 수 있어야 한다.

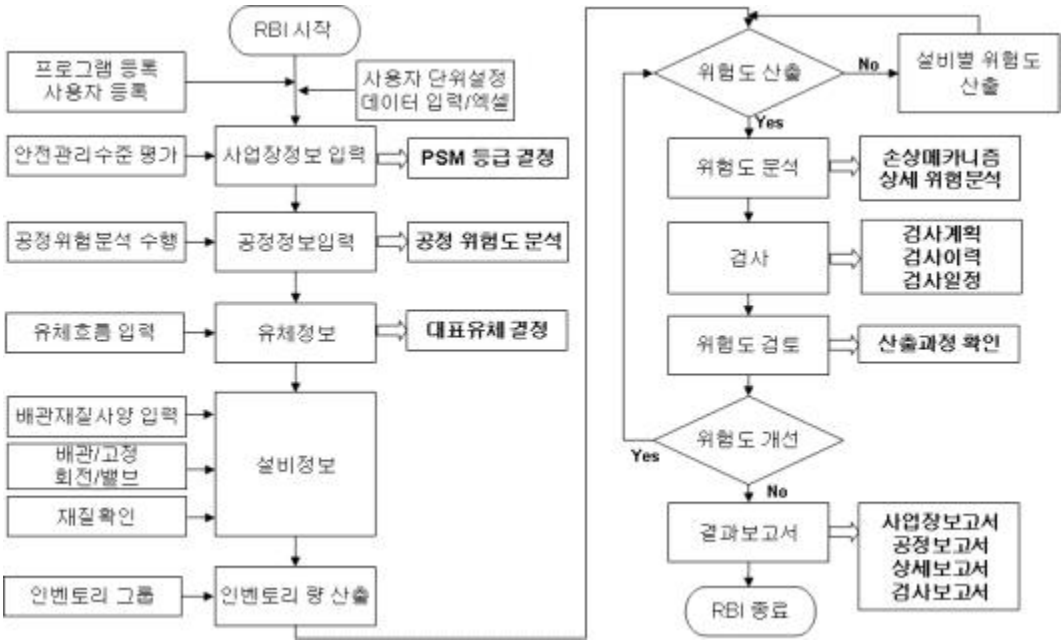
(다) 모든 데이터 수집은 전문 인력에 의해 수행되어야 한다.

5.3 위험성 평가 단계 : 2단계

5.3.1 자료 입력

(1) 5.2.3항에서 자료 수집 및 분석이 완료되면 위험기반검사 프로그램에 데이터를 입력하게 된다. 위험기반검사 프로그램의 데이터 입력 및 운영에 관한 절차는 <그림 4>와 같다.

(2) 위험기반검사 프로그램은 정성적 및 정량적 방법에 의해 설비의 위험도를 평가할 수 있으며, 일관된 규칙은 유지하여야 한다.



<그림 4> 위험기반검사의 데이터 입력 및 운영 절차

5.3.2 위험 평가

(1) 발생가능성 평가

(가) 설비에 대한 고장 발생 가능성을 평가하기 위하여 두께감소(Thinning), 응력부식균열(SCC), 고온수소침식(HTHA), 크립손상(Creep), 기계적 피로(Mechanical fatigue), 취성파괴(Brittlement), 라이닝손상(Lining), 외부손상(External damage)의 손상 형태에 대하여 분석하여야 한다. 이에 국한된 것은 아니다.

(나) 설비에 대한 고장율을 평가하여야 한다.

(다) 고장 발생 가능성에 영향을 주는 주요 인자로는 화학물질, 몰분율, 유속, 온도 등의 공정 조건과 재질의 특성에 따라 손상메커니즘의 정도가 달라지기 때문에 손상메커니즘이 예상된다면 예방 및 완화를 위한 방법이 마련되어야 한다.

(2) 피해크기 평가

(가) 설비에 피해크기는 장치손상 영역과 재정적 손실의 방법으로 산출이 가능하다.

인화성 물질을 사용하는 경우 장치손상 영역 또는 재정적 손실의 방법 중 하나를 선택해서 사용할 수 있다. 공기, 질소, 스팀 등과 같은 유틸리티를 사용하는 경우 장치손상 영역이 없기 때문에 재정적 손실 방법을 택하여 평가하여야 한다.

(나) 피해크기범위는 누출시나리오에 따라 소(Small), 중(Medium), 대(Large), 파열(Rupture)로 4가지로 나타나며, 피해예측을 위한 대책을 마련하기 위해서는 가중평균과 파열로 인한 최악의 경우를 고려하여야 한다.

(다) 피해크기에 영향을 주는 인자로는 공정 유체의 물리화학적 특성, 공정 조건에 의해 결정된다.

5.3.3 위험등급 결정

(1) 설비에 대한 위험도 등급은 일반적으로 <그림 5>와 같이 5×5의 위험도 행렬이 많이 사용되나, 5×5의 행렬로 제한된 것은 아니다.

(2) 5×5의 행렬을 사용하는 경우 위험도 등급은 고위험도(High), 중상위험도(High-medium), 중위험도(Medium), 저위험도(Low) 등급으로 분류한다.

5.3.4. 검사이력 반영

(1) 설비의 발생 가능성은 설비의 신뢰도에 영향을 받으며, 설비의 신뢰도를 확보할 수 있는 방법은 개방검사에 의한 비파괴검사를 통해 얻어질 수 있다.

(2) 개방검사를 수행 후 설비에 대한 검사이력을 위험기반검사 프로그램에 입력하고, 설비에 대한 위험도를 재산출하여야 한다.



<그림 5> 위험도 등급 행렬

5.4 상세 평가 단계 : 3단계

5.4.1 상세 평가 대상 선정 및 평가

(1) 5.3항의 위험성 평가 단계 후 상세 평가 대상 선정을 위하여 <그림 6>의 위험도 행렬을 이용하여 상세검토 확인 대상을 선정한다.

(2) 상세 평가 대상은 위험도 행렬에서 고위험도, 중상위험도 등급에 해당하는 설비는 위험경감방안 수립과 잔여수명평가를 수행하여야 한다.

(3) 중 위험도 설비의 경우 발생가능성 등급이 4등급에 해당할 경우 잔여수명 평가를 수행하여 설비의 신뢰성을 확보할 수 있어야 한다.

5.4.2 위험경감 방안

(1) 발생가능

(가) 손상메커니즘이 예측된 경우 부식 억제 또는 이를 완화할 수 있도록 고려하여야 한다.

(나) 부식 억제 또는 완화가 불가능한 경우 재질의 변경을 고려하여야 한다.

(다) 유속, 온도 등의 공정 변수를 변경하여 부식 범위를 벗어나도록 고려하여야 한다.

(라) 대등한 화학물질로 교체를 고려하여야 한다.

(마) 주기적으로 개방검사를 수행하여 설비의 신뢰성을 확보하여야 한다.

(바) 발생가능성을 줄이기 위한 방법은 5.4.2항 (1)호의 (가)에서 (마)에 국한되지 않으며, 공정에 적합하게 경감방안을 수립하여야 한다.

(2) 피해크기

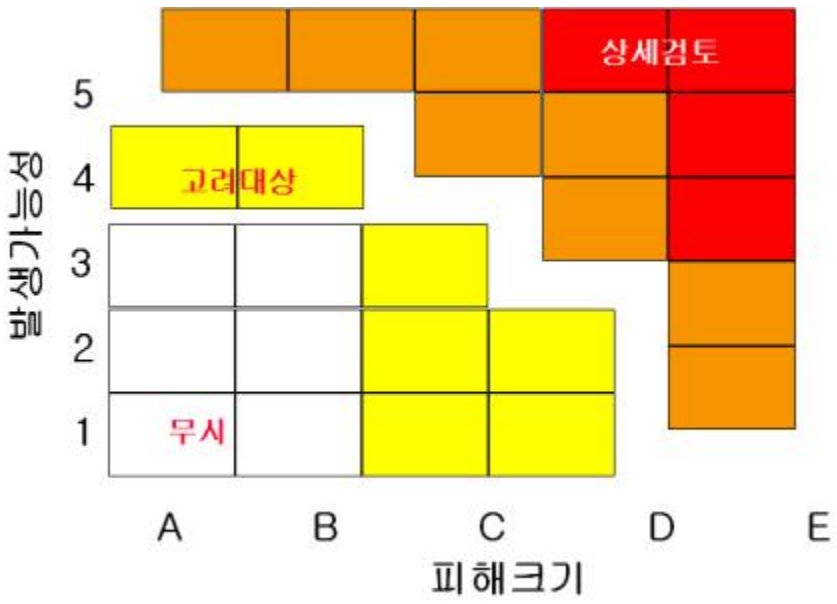
(가) 검출 및 차단시스템을 자동화하여 누출량을 최소화할 수 있도록 한다.

(나) 위험물질 인벤토리 량을 감소하여야 한다.

(다) 대등한 화학물질로 교체를 고려하여야 한다.

(라) 완화시스템을 고려하여 피해 범위를 줄일 수 있도록 하여야 한다.

(마) 피해크기를 줄이기 위한 방법은 5.4.2항 (2)호의 (가)에서 (라)에 국한되지 않으며, 공정의 특성에 적합하게 경감방안을 수립하여야 한다.



<그림 6> 상세 검토 대상 확인

5.5 검사계획 단계 : 4단계

5.5.1 검사계획 수립 개요

(1) 검사계획은 정량화된 위험도에 근거하여 수립할 경우 검사자원을 보다 효율적으로 관리해줄 수 있으며, 매우 효과적이다.

(2) 검사계획 수립에서는 설비의 유지 및 보존 상태, 경제성, 안전성에 따라 가장 효과적이고 적절한 시기에 검사 및 보수를 할 수 있도록 해주어야 한다.

(3) 가장 효과적인 시기에 검사주기, 검사항목, 검사방법, 검사 일정 등을 검사계획에 반영하여 체계적으로 수립하여야 한다.

(4) 검사의 초점이 “어떤 종류의 손상메커니즘을 찾기 위해 검사하는가? 어디를 검사해야 하는가? 어디를 검사해야하는가? 언제 검사를 해야 하는가? 어떠한 방법으로 적용해야하는가?”에 가장 적합하게 이루어져야 한다.

5.5.2 육안검사 판단기준 수립

(1) 설비의 검사는 육안검사와 비파괴 검사에 의해 이루어 질 수 있으며, 육안검사에서 문제점이 발견될 경우 비파괴 검사를 병행하게 된다.

(2) 육안검사 판단 기준에서는 부위와 검사 내용에 대하여 정의를 하게 된다. <표 2>는 타워류에서 육안검사를 수행하기 위한 검사부위별 검사항목과 검사 내용에 대한 예이다.

5.5.3 손상메커니즘의 확인

(1) API-581 절차에서는 <표 3>에서와 같이 두께감소, 응력부식균열, 고온수소침식, 크립, 기계적 피로, 취성파괴, 외부손상에 대한 손상메커니즘을 제공하고 있다.

(2) 이들 손상메커니즘은 검사기법과 검사 유효성을 적용할 수 있도록 제시되었기 때문에 보다 폭넓은 적용을 위해서는 API 571에서 제공되는 손상메커니즘에 대한 확인이 이루어져야 한다.

(3) API-571에서는 63종의 손상메커니즘은 <표 4>에서와 같다. 손상메커니즘에 대한 확인은 손상메커니즘에 영향을 미치는 인자, 완화 및 방지방법, 모니터링 방법 등에 대하여 검토가 되어야 한다.

<표 2> 타워류 내·외부에 대한 육안검사 기준

항목	구분	부위	검사내용
외부	본체	- Shell, Head 표면 - Nozzle노즐 - 보온, 보냉재	- 부식, Crack, 변형 상태 - Skirt와 본체 용접부 결함 - 도장의 박리 - 탈락
	지지부	- Skirt, Saddle, foundation - 고정장치 볼트/너트	- 부식, 균열, 변형 상태 - Sliding Point의 Sliding 가능여부 - 부식, 조임상태
	부착류	- Platform, Ladder, Cage - Bolt/Nut - Fire Proofing - Grounding	- 부식, 도장 박리 상태 - 부식, 조임 상태 - 균열 및 빗물 침투 여부 - 탈락 여부
내부	본체	- 모재 및 용접부 - Nozzle	- 부식, 마모, Crack, 변형유무 - Pitting 깊이 측정 - 마모, 부식, Crack 유무 - Gasket면의 부식 유무
		- Cladding, Lining, Weld Overlay	- 부식, Crack 유무 - Disbonding 유무
	Internal	- Tray 부위	- Cap 탈락수 - 변형(Bending) 유무 - Bold/Nut 조임, 부식 상태 - Cap Hole 변형정도
		- Distribution Pipe	- Hole 막힘 유무, 부식 상태
		- Demister	- 부식 상태

<표 3> API-581절차에 의한 손상메커니즘 분류

손상의 형태	관련 메커니즘	손상의 형태	관련 메커니즘
두께감소	염산부식	응력부식 균열	부식성 균열
	고온황산염/나프텐산 부식		아민 균열
	고온 H_2S/H_2 부식		황화물 응력균열
	H_2SO_4 부식		HIC/SOHIC 균열
	HF 부식		탄산염 균열
	산성수 부식		PTA 균열
	아민 부식		ClSCC 균열
	고온산화 부식		HSC-HF 균열
수소침식	고온수소침식		HIC/SOHIC-HF 균열
크립	크립(Creep) 손상	취성파괴	낮은 온도/인성
외부손상	외부 부식		뜨임취성
	보온밑 부식		457℃ 취성
	외부 응력부식균열		시그마 취성
	보온밑 응력부식균열	Fatigue	기계적 피로
라이닝 손상	설비 라이닝 손상		

<표 4> API-571에 의한 손상 메커니즘

DM#	Damage Mechanism	DM#	Damage Mechanism
1	Sulfidation	33	885°F (475°C) Embrittlement
2	Wet H_2S Damage (Blistering/HIC/SOHIC/SSC)	34	Softening (Spheroidization)
3	Creep / Stress Rupture	35	Reheat Cracking
4	High temp H_2/H_2S Corrosion	36	Sulfuric Acid Corrosion
5	Polythionic Acid Cracking	37	Hydrofluoric Acid Corrosion
6	Naphthenic Acid Corrosion	38	Flue Gas Dew Point Corrosion
7	Ammonium Bisulfide Corrosion	39	Dissimilar Metal Weld (DMW) Cracking
8	Ammonium Chloride Corrosion	40	Hydrogen Stress Cracking in HF
9	HCl Corrosion	41	Dealloying (Dezincification/ Denickelification)
10	High Temperature Hydrogen Attack	42	CO_2 Corrosion
11	Oxidation	43	Corrosion Fatigue
12	Thermal Fatigue	44	Fuel Ash Corrosion
13	Sour Water Corrosion (acidic)	45	Amine Corrosion
14	Refractory Degradation	46	Corrosion Under Insulation (CUI)
15	Graphitization	47	Atmospheric Corrosion
16	Temper Embrittlement	48	Ammonia Stress Corrosion Cracking
17	Decarburization	49	Cooling Water Corrosion
18	Caustic Cracking	50	Boiler Water / Condensate Corrosion
19	Caustic Corrosion	51	Microbiologically Induced Corrosion (MIC)
20	Erosion / Erosion-Corrosion	52	Liquid Metal Embrittlement
21	Carbonate SCC	53	Galvanic Corrosion
22	Amine Cracking	54	Mechanical Fatigue
23	Chloride Stress Corrosion Cracking	55	Nitriding
24	Carburization	56	Vibration-Induced Fatigue
25	Hydrogen Embrittlement	57	Titanium Hydriding
27	Thermal Shock	58	Soil Corrosion
28	Cavitation	59	Metal Dusting
29	Graphitic Corrosion (see Dealloying)	60	Strain Aging
30	Short term Overheating – Stress Rupture	61	Steam Blanketing
31	Brittle Fracture	62	Phosphoric Acid Corrosion
32	Sigma Phase/ Chi Embrittlement	63	Phenol (carbolic acid) Corrosion

5.5.4 검사부위 선정

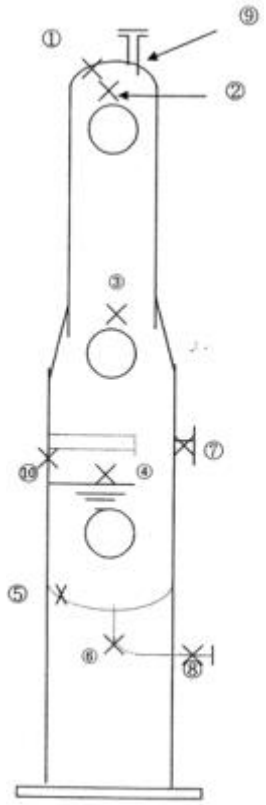
(1) 설비형태와 손상메커니즘과 부식 영향인자를 고려하여 설비의 검사부위를 결정하여야 한다.

(2) 검사부위 결정 시 고려할 부식 영향인자는 설비의 형태 및 유체의 거동 특성 등을 기반으로 결정되어야 한다.

(3) <그림 7>은 타워류에서 검사부위를 나타낸 것으로서, 고려된 부식 영향 인자는 응력 집중, 기-액상 경계면, 침전물, 유속, 유체충격 등 이다

(4) <그림 8>은 배관에서 제어밸브가 설치된 부위에서 고려된 부식 영향 인자를 나타

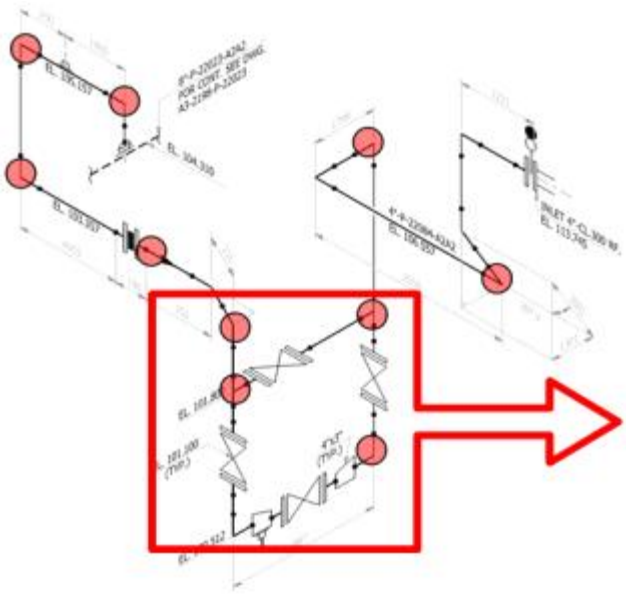
낸 것이다. 고려된 부식 영향인자로는 유체정체, 유속변화, 응력집중, 냉각 등을 고려할 수 있다. 특히 배관의 경우 사용되는 직경에 따라 유체의 거동 특성을 고려하여 검사해야 할 부위를 달리하여야 한다.



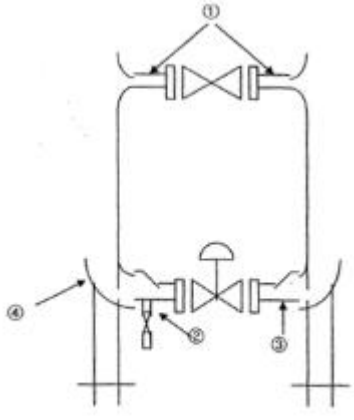
검사부위	부식 영향인자
①	응력집중
②	〃
③	〃
④	기-액상 경계면
⑤	응력집중, 침전물
⑥	유속
⑦	〃
⑧	〃
⑨	〃
⑩	유체 충격

X 표 : 측정 지점

<그림 7> 타워류에서 검사부위 선정



검사부위	부식 영향인자
①	유체정치
②	유체정체
③	유속변환
④	응력집중, 냉각



<그림 8> 제어밸브 및 연결부위에서 검사 위치 선정

5.5.5 검사효율 및 검사기법

(1) 설비의 검사부위 선정 후 각 부위별로 비파괴 검사를 수행하게 된다. 이때 비파괴 검사를 수행하기 위해 손상메커니즘별로 검사효율을 달리 적용하게 된다.

(2) 손상메커니즘의 수준을 고려하여 심각한 경우 매우 효과적(Highly)으로 수행하고, 정도가 심각하지 않은 경우는 약간 효과적(Poorly)한 방법으로 검사를 수행하게 된다. 이때 적용할 수 있는 검사효율 등급은 매우 효과적(Highly), 대체로 효과적(Usually), 효과적(Fairly), 약간 효과적(Poorly)로 구분된다.

(3) 검사의 형식은 용기인 경우 개방검사를, 그리고 배관인 경우 사용중 검사를 선택하여 검사효율에 맞게 적용하야 한다. <표 5>는 두께감소에 대한 검사 방법을 나타낸 예이다.

(4) 손상메커니즘과 검사효율을 고려하여 가장 적합한 비파괴검사기법을 설정하여야 한다. <표 6>은 손상메커니즘별로 검사기법(비파괴검사)에 대해 적용 가능성의 예시를 나타낸 것으로, 손상메커니즘과 검사효율을 고려하여 선택하게 된다.

<표 5> 두께감소에 대한 검사 방법

검사효율	개방검사	사용중 검사
매우 효과적 (Highly)	50~100% 표면검사(내부물 부분적으로 제거 후)와 두께산출	50~100% 초음파 스캐닝(자동 또는 수동) 또는 형상 방사선 검사
대체로 효과적 (Usually)	명목상의 20% 검사(내부물 제거하지 않음)와 지점 외부 초음파 두께 산출	명목상 20% 초음파 스캐닝(자동 또는 수동) 또는 형상 방사선 검사 또는 외부 지점 두께(통계적으로 유효한) 산출
효과적 (Fairly)	두께산출 없이 육안검사	2~3% 검사 또는 지점 외부 초음파 두께 산출과 내부 육안검사를 하지 않거나 거의 하지 않음
약간 효과적 (Poorly)	지점 두께 읽음 값만 육안검사	2~3차례 두께산출과 문서화된 검사 계획 시스템

<표 6> 손상메커니즘별 검사기법 예시

검사기법	두께 감소	표면 균열	표면하 균열	미세 균열	금속 변화	치수 변화	부풀음
Visual Examination	1-3	2-3	X	X	X	1-3	1-3
Ultrasonic Straight Beam	1-3	3-X	3-X	2-3	X	X	1-2
Ultrasonic Shear Wave	X	1-2	1-2	2-3	X	X	X
Fluorescent Magnetic Particle	X	1-2	3-X	X	X	X	X
Dye Penetrant	X	1-3	X	X	X	X	X
Acoustic E mission	X	1-3	1-3	3-X	X	X	3-X
Eddy Current	1-2	1-2	1-2	3-X	X	X	X
Flux Leakage	1-2	X	X	X	X	X	X
Radiography	1-3	3-X	3-X	X	X	1-2	X
Dimensional Measurements	1-3	X	X	X	X	1-2	X
Metallography	X	2-3	2-3	2-3	1-2	X	X

1=매우 효과적
2=알맞게 효과적
3=가능한 효과적
X=정상적으로 사용되지 않음

5.5.6 검사주기 설정

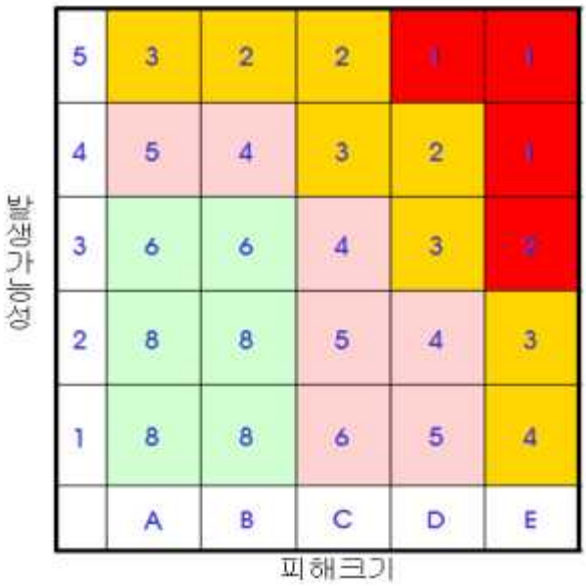
(1) 설비의 검사주기를 설정하는 방법은 크게 두 가지 방법을 사용하게 된다. RBI 프로그램에서 현재 이후의 설비 상태를 예측할 수 없을 경우 첫 번째 경우를 사용해야 하며, 10년 후까지 설비의 상태를 예측할 수 있는 경우는 두 번째 경우를 사용한다.

(가) 첫 번째는 정적인 위험도에 근거한 방법으로 위험도 행렬에 검사주기를 설정 후 해당 설비에서 위험도 등급을 위험도 행렬에 적용하여 검사주기를 찾는 방법이다.

(나) 두 번째 방법은 동적인 위험도에 근거하여 시간 경과에 따른 위험도의 증가를 고려하여 설정된 위험도 값에 도달할 때까지의 걸리는 시간을 고려하여 이를 검사주기로 설정하는 방법이다. 이때 적용되는 검사 유효성 등급을 반영하여 다음 검사의 주기에 영향을 미치게 된다.

(2) 위험도 행렬에 의한 검사주기를 사용할 경우 설비의 잔여수명이 검사주기보다 짧은 경우 이를 고려하여 검사주기를 재설정하여야 하며, 현재와 향후 10년 후까지의 설비의 상태를 예측하여 설비의 설정 위험도에 도달하는 시간에 의해 검사주기를 결정하는 방법을 권장한다.

(3) 위험기반검사 프로그램에서 사용하고 있는 검사주기는 위험도 행렬에 의해 검사주기를 설정하고 있으며, 기본 검사주기는 <그림 9>와 같다.



<그림 9> RBI에 의한 검사주기

6. 위험 관리

6.1 위험도 감소

(1) 위험수준(Risk level)을 체계적으로 감소시키기 위해서는 사고발생 빈도가 낮고, 피해정도가 적은 위험설비보다 발생빈도는 크고 피해정도가 심각한 위험설비에 중점을 두어 소수의 고위험 설비(전체 설비의 10~20%)를 집중 관리함으로써 가능하다.

(2) 고위험 설비에 대하여는 즉각적인 검사를 수행하여 설비에 대한 신뢰도를 확보할 수 있어야 하며, 이외의 설비에 대해서는 향후 설비의 사용조건 및 상태에 따라 적절한 검사주기를 연장하고, 계속적인 모니터링을 통해 설비의 상태를 최적의 조건으로 관리해 주어야 한다.

6.2 설비관리

(1) 검사를 수행하여야 할 설비가 선정되면 설비에서 취약부위를 분석하여 육안검사 및 비파괴검사 방법을 선정하게 된다.

(2) 취약 부위에 대해 손상메커니즘의 형태 및 영향인자를 파악하여 예방 및 완화 방법을 강구하여야 할 뿐만 아니라 향후 검사방법과 모니터링 방법을 결정하여 체계적으로 관리하여야 한다.

6.3 검사이력 전산화

(1) 검사가 완료되면 각종 검사결과에 대해 이력을 관리해야 한다.

(2) 검사이력은 기록표로써 수기의 형태로 보존할 수도 있으나 설비수가 많을 경우는 전산시스템을 구축하여 관리하기도 한다. 특히, 배관의 경우는 관리대상이 방대하므로, 이력의 전산화가 효율적이다.

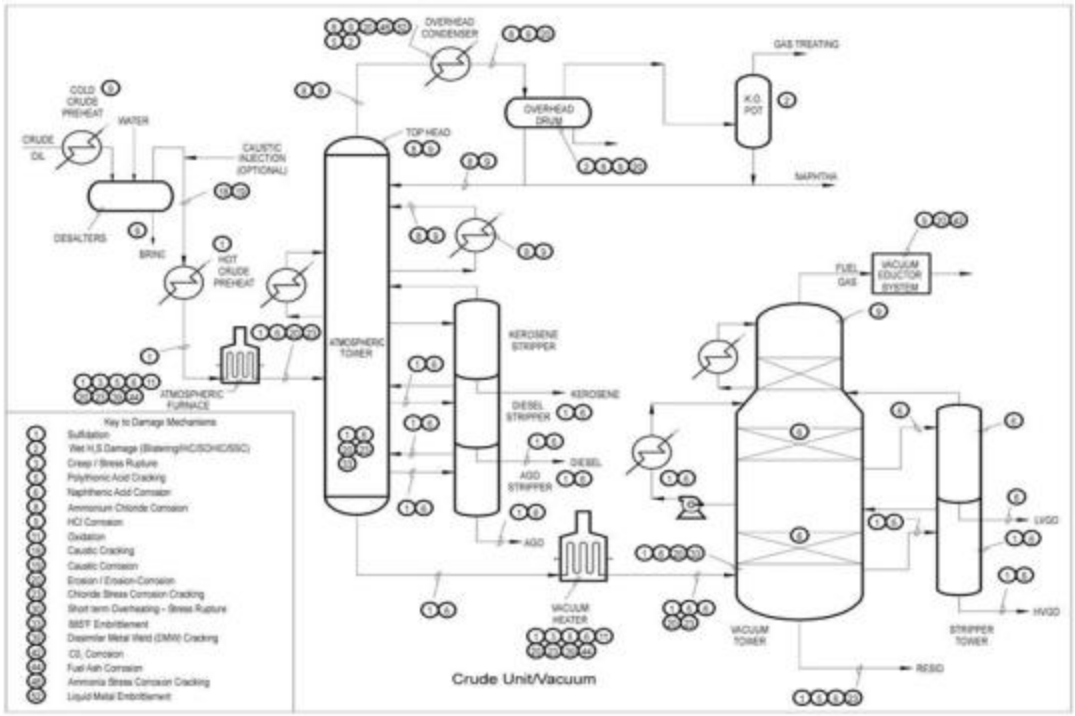
(3) 검사이력은 설비관리에 있어서 중요한 자료가 되므로, 반드시 작성, 유지 및 보존해야 한다. 해당설비가 폐기된 이후에도 이력은 상당기간 보존되어야 하는데, 그 이유는 유사한 설비를 신설 또는 증설하는 경우에 초기 관리등급 및 중점 검사부위의 선정에 중요한 참조자료가 되기 때문이다.

6.4 부식지도 작성

(1) 설비에 대한 검사를 효율적으로 관리하기 위해서는 부식지도(Corrosion map)를 작성하여야 한다.

(2) 부식지도는 위험기반검사를 수행 후 얻어진 개별 설비의 손상메커니즘을 PFD와 같이 유체 및 설비에 대한 정보를 나타낼 수 있는 도면에 <그림 10>과 같이 나타내도록 하여 공정별로 관리하는 기술이다.

(3) 부식지도를 작성함으로써 해당 공정의 설비에 대해 예측 가능한 손상메커니즘을 정의함으로써 공정을 보다 효율적으로 관리할 수 있을 것이며, 공정에서 문제 발생 시 원인을 예측함에 있어 가장 효율적인 방법이다.



<그림 10> 공정에서 부식지도 작성 예

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 개정사유 : 확인(체계정비)

○ 주요 개정내용

- 국문 명칭(기술지침→기술지원규정) 개정

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : C-C-23-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.