

# 위험기반검사 기법을 이용한 위험관리



글 | 김인태  
협회 위험조사부 차장



위험기반검사는 정성적인 방법이나 사고발생 가능성과 크기에 의해 결정하는 정량적인 방법을 이용해 위험도를 파악하여 검사체계의 운영과 공정 또는 장치의 검사 우선순위를 결정하는 방법으로서, 설비의 안전성을 향상시키고 경비를 절감할 수 있다는 장점이 있다.

## 1. 머리말

석유화학, 정유, 가스 등 장치 산업분야의 기술이 발전함에 따라 각종 시설들은 복잡·다양화되고 있으며, 생산효율을 높이기 위해 고온, 고압의 조건 하에서 운전하는 시설이 증가하고 있다.

이와 같은 장치 및 설비들은 사고 위험성이 높아, 사전 예방점검 등 주기적인 검사를 통하여 위험을 예측하고 보수 또는 교환할 것을 결정하게 된다. 그러나 과도한 검사 또는 중복 검사는 비용부담 요인이 되며, 검사 결과에 대한 신뢰성을 확보하지 못하여 위험도가 증가할 수 있다.

따라서 노후화된 장치들은 유지·보존 상태와 경제성 및 안전성에 따라 효과적이고 적절한 시기에 검사하거나 보수해야 할 필요성이 제기되고 있으며, 이를 해결하기 위해 도입된 위험기반검사(RBI: Risk Based Inspection) 기법이 미국·유럽 등의 선진국을 중심으로 개발되고 있다. 몇 년 전부터 국내에서도 관심을 갖고 연구하고 있으며 석유화학 사업장에 적용되고 있다.

위험기반검사는 정성적인 방법이나 사고발생 가능성과 크기에 의해 결정하는 정량적인 방법을 이용해 위험도를 파악하여 검사체계의 운영과 공정 또는 장치의 검사 우선순위를 결정하는 방법으로서, 설비의 안전성을 향상시키고 경비를 절감할 수 있다는 장점이 있다. 실제로 다국적 기업인 다투 케미칼사에서는 DNV의 위험기반검사 기법을 도입하여 매년 10억 불에 달하는 관리비용을 절감하였다고 보고되고 있다.

위험기반검사를 수행하기 위해서는 많은 기초 자료

와 전문 지식이 필요하여 초기 투자비용이 요구되는데 최근에는 이러한 검사를 수월하게 하기 위한 툴이 만들어져 결과를 보다 쉽게 얻을 수 있게 되었다.

상용화된 프로그램으로는 Tischuk사의 T-OCA, Det Norske Veritas사의 ORBIT, TWI사의 ISK-WISE, CREDO Soft사의 CREDO 4.0, APTECH Eng.사의 RDMIP와 같은 것들이 있으며, 미국석유협회(API)에서는 위험기반검사 기초자료 문서(Risk Based Inspection Base Resource Documentation, API 581, 2000.5)를 발간하여 적용방법과 기초 자료를 제공하고 있다.

## 2. 위험기반검사 특징

위험기반검사의 주요 대상은 고온, 고압 조건에서 위험물을 취급하는 공정장치이며, 사고로 인하여 화재, 폭발, 독성물질 누출, 환경오염 등의 피해가 예상되는 곳을 파악하여 집중적으로 검사하도록 하고 있다.

즉, 장치 산업에 존재하고 있는 실제 위험에 기초하여 위험요소를 분석한 결과를 토대로 효율적인 방법으로 설비를 관리할 수 있도록 하는 기법으로서, 설비별 위험도에 따라 검사의 주기, 방법 등을 달리하여 유지·보수·관리함으로써 최소한의 검사·유지·보수 비용으로 설비의 안전을 확보하고 가동성을 향상시키고자 하는 것이다.

특히, 기계장치의 보존성에 초점을 맞추고 있는데



압력장치, 배관, 저장탱크 등이 주요 분석대상이 되고 있다.

API 권장실무에 따르면 위험기반검사에서 다루는 가압 장치의 유형과 관련된 장치는 다음과 같이 정하고 있다.

- a. 압력용기를 포함한 압력과 관련된 모든 구성요소
- b. 공정 배관 및 배관 구성요소
- c. 대기압 탱크 및 가압 탱크를 포함한 저장탱크
- d. 압력과 관련된 회전장치 및 구성요소
- e. 보일러의 히터의 가압 구성요소
- f. 열교환기(셸, 헤드, 채널 및 번들)
- g. 압력방출장치

한편, 다음과 같은 비가압 장치는 위험검사기반에서 제외하고 있다.

- a. 계측장치 및 제어설비
- b. 전기설비
- c. 구조설비
- d. 기계 구성요소(펌프 및 컴프레서 외피 제외)

장치 산업과 같은 규모가 큰 사업장에서는 자체적으로 점검 시스템 및 시험 프로그램을 갖고 공장 가동 중이나 정비기간 중에는 장치에 대한 열화를 감지하고 평가하고 있다.

이러한 점검 결과에 대하여 여러 방법으로 대응할 수 있는데 극단적인 방법으로는 “고장 날 때까지 수리하지 않는다”는 것과 다른 한편으로는 “모든 장치에 대해 철저한 점검을 실시하여 수시로 대책을 세운다”는 것이다.

예방점검의 주기 및 방법론에 대해서는 많은 변화가 있어 왔는데 초기에는 정기적으로 장치 보전성을

검증하기 위하여 시간을 기준하였다. 그러나 점검 방법의 발전과 열화 유형, 열화율에 대한 연구가 진행되면서 시간 기준보다는 장치 조건이 점검 주기 설정에 더 큰 영향을 미치게 되었다.

위험기반검사는 차세대 점검 접근법과 주기 설정 방식을 제시하는 최근 기법으로서 점검의 궁극적인 목적을 가동 시설의 안전 및 신뢰성에 두고 있으며, 특히 장치 및 시설에 가장 큰 위험이 되는 열화 메커니즘에 초점을 맞추고 있다. 위험기반검사는 사고 예방 및 감소에 초점을 맞추기 때문에 장치 고장으로 이어지는 메커니즘과 위험요인을 효율적으로 감소시키는 점검 방법을 잘 연계시킬 수 있다.

따라서 위험기반검사는 시설 점검을 지속적으로 향상시키고 고장과 관련된 위험을 체계적으로 감소시키는 도구로 활용할 수 있다. 점검 결과와 같은 새로운 자료를 사용할 수 있을 때 변경이 발생했을 경우, 위험기반검사 프로그램을 재평가하여 위험에 대한 새로운 결과를 얻을 수 있으며 위험관리 계획을 적절하게 조정할 수 있는 것이다.

위험기반검사에서 제공하는 또 다른 이점은 상업적으로 이용할 수 있는 점검 기법과 적용 효율성의 차이 및 단점을 확인할 수 있다는 것이다. 점검 기법이 적절하고 비용 효율적으로 위험을 완화시키지 못하는 경우, 다른 위험평가방법을 수행할 수 있다. 위험기반검사 방법은 점검 기법을 개발하도록 도와주고, 더 나아가 새로운 점검 기법과 병행하여 사용할 수 있게 하는 한편, 일반적으로 사용되지는 않으나 이미 증명된 점검 기법이 더 빠르고 폭넓게 사용되도록 촉진하는 것이다.

즉, 위험기반검사는 공정위험분석(PHA) 또는 신뢰성 중심 유지관리(RCM)와 같은 조직적 위험관리 방법에서 완전하게 검토되지 못하는 부분에 대해 검토를 수행하는 위험 평가 및 관리 도구라 할 수 있다.

PHA, RCM 같은 위험관리 내용을 보완함으로써 장치 운전과 관련된 위험에 대해 상세하게 평가할 수 있는 것이다.

### 3. 적용 방법

위험의 정도를 수치화하여 절대위험을 계산하는 것은 많은 시간과 비용을 필요로 하고, 불확실성이 너무 커서 평가가 불가능한 경우도 있다. 탄화수소 및 화학 시설의 저유설비 손실에는 많은 변수가 관련되어 있어서 이러한 정량적 평가방법이 비효율적일 수 있다. 따라서 상대 위험에 근거하여 시설, 단위, 설비, 장치 또는 구성요소의 등급을 지정하는 정성적 평가방법은 비용과 시간을 줄일 수 있으며, 위험 정도를 등급화하여 위험관리의 초점을 맞출 수 있다.

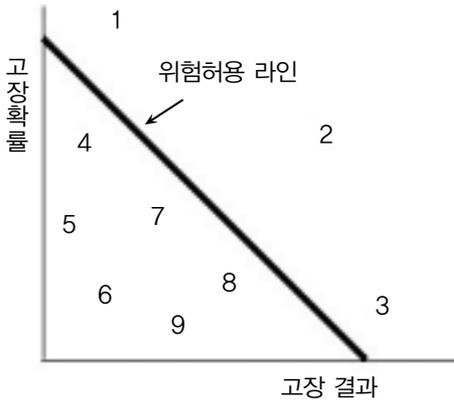
그러나 정량적 평가를 엄격하게 수행하는 경우 실제 위험에 상당히 근접하여 정확한 의사결정 자료로 활용될 수 있으므로 평가 목적과 평가대상에 따라 방법을 정하여야 한다. 평가 방법을 선택하는 데 고려하여야 할 사항으로는 평가 목적 및 범위, 시간과 인력, 평가 대상 장치 숫자, 시설 및 공정의 복잡성, 사용 가능한 자료의 양과 신뢰성 등이 있다.

정량적 평가 방법을 사용하거나 위험등급을 사용하게 되면 사업장에서는 허용할 수 있는 위험 또는 허용할 수 없는 위험범위를 정할 수 있으며, 각 장치가 어느 부분에 속해 있는지를 파악하여 위험 허용범위 안에 포함시키도록 하는 구체적인 방법을 찾을 수 있게 된다. 즉, 장치의 사고 발생빈도와 피해결과를 예측하여 각 장치의 위험특성에 따라 효과적인 방법으로 위험을 감소시킬 수 있게 된다.

예를 들어 [그림 1]과 같이 위험허용 범위를 벗어난 1, 2, 3 장치에서 1장치는 고장확률을 줄여 신뢰성을 확보하는 것이 필요하며, 3장치는 고장결과로 인한 피

해결과를 감소시키는 것이 중요하며, 2장치는 고장 확률과 결과를 병행하여 관리하여야 할 것이다.

여기서는 API에서 제시한 정성적 접근방법과 정량적 접근방법의 주요 특징에 대하여 살펴보기로 한다.



■ 그림 1. 위험 도표

### 가. 정성적 접근방법

정성적 위험기반검사 절차의 기능은 다음 세 가지로 요약할 수 있다.

- a. 필요한 분석 수준을 선택하고 추가 분석(정량적 위험기반검사 또는 그 외의 기법)에 도움이 되도록 현장 내의 공정 단위를 선별한다.
- b. 공정 단위의 위험 수준을 평가하고, 위험행렬 내에서의 위치를 정한다.
- c. 플랜트에서 문제가 될 가능성이 있는 부분을 찾아낸다. 확인된 부분에 대해 강화된 점검 프로그램을 적용할 수도 있다.

분석에서는 먼저 해당 부분의 고장 가능성을 알려 줄 계수를 결정한 다음, 결과계수를 결정한다. 이 두 가지 계수를 위험행렬 내에서 조합하면 공정 단위의 위

험 등급이 결정된다. 정성적 위험기반검사 분석의 각 단계를 더 구체적으로 다루기 전에, 간단한 선별 과정을 통하여 단위 간 상대적 위험을 결정할 수 있다.

### (1) 가능성 계수

가능성 범주는 대형 누출 가능성에 영향을 주는 6개의 계수를 평가하여 지정한다. 각 계수는 각종 처리되며, 여러 계수를 조합하면 가능성 계수가 나온다. 가능성 계수는 위험행렬의 수직 축에 표시된다. 가능성 범주를 구성하는 6개의 하위 계수는 다음과 같다.

- a. 장치 크기 (장치계수, EF)
- b. 손상 메커니즘 (손상계수, DF)
- c. 점검의 적합성 (점검계수, IF)
- d. 현재 장치 조건 (조건계수, CCF)
- e. 공정의 특성 (공정계수, PF)
- f. 장치 설계 (기계설계계수, MDF)

위의 6개 구성요소를 조합하여 전체 가능성 계수를 정한다. 그런 다음 전체 가능성 계수를 토대로 가능성 범주를 지정한다.

### (2) 사고결과 계수

정유 및 석유화학공정과 관련된 두 가지 주요 잠재적 위험은 (a) 화재 및 폭발 위험과 (b) 독성 위험이다. 독성 물질 사고결과 범주를 결정할 때, 위험기반검사는 중대한 영향만 고려한다.

사고결과 분석시 정성적 기준서 B에서 손상결과 계수를, C에서 보건결과계수를 결정한다. 이런 결정은 일반적으로 각 화학물질별로 생성된다. 하지만 많은 화학물질에 지배적인 위험(화재·폭발이나 독성 중 한 가지)이 있으므로, 어떤 화학물질의 지배적인 위험을 알고 있다면 그 위험



의 계수만 결정해야 하며, 두 가지 계수 모두에 대해 결정할 필요가 없다. 손상결과범주는 화재 및 폭발 위험의 정도를 결정하는 다음 일곱 가지 요소를 조합하여 도출한다.

- a. 고유 발화 경향 (화학계수, CF)
- b. 누출 가능 수량 (수량계수, QF)
- c. 증기로 바뀌는 능력 (상태계수, SF)
- d. 자연발화 가능성 (자연발화계수, AF)
- e. 고압 공정의 영향 (압력계수, PRF)
- f. 엔지니어 안전장치 (신용계수, CRF)
- g. 손상 노출 정도 (잠재적 손상계수, DPPF)

#### 나. 정량적 접근방법

위험물질이 누출되면, 바람직하지 못한 여러 가지 영향이 나타나게 된다. 위험기반검사 프로그램에서

는 이러한 영향을 다음 네 가지 기본 위험 범주로 요약한다.

- a. 인화성 물질 사고에서 발생하는 손상은 두 가지 요인, 즉 열복사와 폭발 과압으로 인한 것이다. 열의 영향으로 인한 손상은 대부분 가까운 범위에서 발생하는 경향이 있지만, 폭발로 인한 영향은 폭발 중심지에서 비교적 먼 거리까지도 손상을 일으킬 수 있다.
- b. 위험기반검사 방식에서는 사람들에게 영향을 주는 경우에만 독성 물질 누출을 다루며, 만성이 아닌 급성인 경우를 고려한다. 이러한 누출은 인화성 물질 사고에 비해 더 넓은 지역에 영향을 줄 수 있다.
- c. 환경 위험은 공정 플랜트에서 전반적인 위험을 고려할 때 중요한 요소이다.

위험기반검사 프로그램은 낮은 수준의 누출로 인한 만성적인 위험이 아니라 급격한 환경 위험에 초점을 맞춘다.

환경 손상은 많은 물질이 누출될 때 발생하며, 주요 환경 위험은 플랜트 경계 밖에서 액체 탄화수소가 다량 누출되면 발생한다.

- d. 기업휴지로 인한 피해는 종종 장치비용이나 환경 손상보다 크기 때문에 위험기반검사 프로그램에서 고려해야 한다. 인화성 물질 손상 추정에서 고려하는 장치교체비용은 중요한 단위 전체를 장기간 작동하지 못하는 것에 비하면 사소한 것일 수 있다.

정량적 위험기반검사의 우선순위 지정 방식은 위험기반검사 데이터베이스에서 공정 장치에 대한 정보, 물질특성 및 그 외의 필요한 정보를 추출하는 것으로 시작한다.

그 다음에 누출이 어떻게 발생할 수 있으며, 어떻게 바람직하지 못한 사고로 진행될 수 있는지 보여주는 다양한 시나리오를 개발하는 것이다.

정량적 위험기반검사 계산에서 누출 시나리오의 네 가지 요소 중 하나는 장치에 뚫린 구멍 크기이다. 구멍

크기와 시나리오 사이에 일대일 대응

관계가 있으므로, 이들 용어는 같은 개념으로 사용하여도 무방하다.

필요한 경우 네 가지 위험 범주 모두에 대해 각 시나리오의 위험을 계산할 수 있다. 그 다음에 시나리오 계산에서 나온 개인 위험 요소를 합하여 각 장치의 위험을 계산하도록 한다.



### (1) 가능성 개요

가능성 분석은 특정한 장치 유형의 일반 고장 빈도 데이터베이스에서 시작한다. 이들 일반 빈도를 두 가지 요소, 장치수정계수(FE)와 관리시스템 평가계수(FM)를 이용하여 수정한다.

즉, 일반 고장 빈도에 이 두 가지 수정계수를 곱하여 조정된 고장 빈도를 계산한다. 일반 고장 빈도 데이터베이스는 여러 산업 부문에서 나온 장치 고장 내역 정보를 종합한 것이다. 이 데이터에서 각 장치 유형과 각 배관 직경별로 일반적인 고장확률을 추정할 수 있다.

장치수정계수는 각 장치가 작동하는 구체적인 환경을 검토하여 해당 장치에만 적용되는 수정계수를 만든다. 관리시스템 평가계수는 시설의 공정 안전관리 (PSM) 시스템이 플랜트의 기계 보전성에 미치는 영향에 맞추어 조정된다.

이 조정은 모든 대상 장치에 동일하게 적용된다. 이 계수는 다른 플랜트 간 또는 관리시스템이 서로 다른 단위 간 연구에서 차별화하는 역할만 한다. 하지만, 평가 프로세스를 이용하면 PSM 프로그램의 효율성을 향상시켜 전반적인 위험을 줄일 수 있다.

### (2) 사고결과 개요

위험물질 누출 사고결과를 추정하는 과정은 다음 다섯 가지 단계로 진행된다.

- a. 누출률 또는 누출 가능한 총 질량을 추정한다.
- b. 유체가 빠르게 순간 누출되어 확산되는지, 느리게 연속 누출되어 확산되는지를 판단한다.
- c. 유체가 대기 중에서 액체로 확산되는지, 가스로 확산되는지 판단한다.
- d. 완화설비의 영향을 추정한다.
- e. 사고결과를 추정한다.



환경에 미치는 영향은 누출율이나 질량 정보를 직접적으로 이용할 수 있으며, 기업휴지 위험은 인화성 물질 사고에 대해 알아낸 결과에서 직접 도출한다.

#### 4. 맺음말

위험기반검사는 안전·환경 및 사업수행에 장애를 주는 위험요소를 검토하여 비용-효과적인 방법으로 설비를 관리할 수 있도록 할 뿐만 아니라 검사자원을 보다 효율적으로 운영하여 사고 가능성을 구조적으로 감소시킬 수 있는 방법으로서 석유화학계통의 장치 사업장에서 활용되고 있다.

그러나 다른 많은 방법과 마찬가지로 위험기반검사로 사고 가능성과 피해결과를 줄일 수 없는 위험 또는

위험기반검사의 영향을 받지 않는 분야에서의 위험은 항상 존재하게 되므로, 이러한 분야의 위험은 다른 관리방법으로 해결하여야 할 것이다.

위험기반검사의 주요 특징은 장치보존을 통하여 위험을 관리하는 것이라고 할 수 있으며, 기존의 위험평가방법과 병행하여 사용하기도 한다.

수행 방법은 정성적일 수도 있고, 정량적일 수도 있으며, 두 가지를 동시에 적용하는 준-정량적일 수도 있다.

중요한 것은 수행 목적과 능력에 따라 결정하여야 하며, 각 수행방법에서 제공하는 체계적인 기법을 통해 위험을 선별하고 잠재적으로 중요한 영역을 파악하여 더 깊이 있는 점검이나 분석을 위한 우선순위 목록을 개발할 수 있도록 하는 것도 고려되어야 한다. (🔥)