



2020

위험도기반 검사(RBI) 수행 지침서

GL-0009-K (E)

한 국 선 급

— Disclaimer :

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in these guidelines, the Korean Register is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from these guidelines.

These guidelines are non-mandatory, but are intended to provide practical technical materials to ship owners, ship operators, shipyards, designers and manufacturers. It might be amended periodically or upgraded to rules and guidance as future technology develops and matures.

“위험도기반 검사(RBI) 수행 지침서” 의 적용

1. 이 지침서는 별도로 명시하는 것을 제외하고 2020년 7월 1일 이후 신청되는 위험도기반 검사 프로그램의 수행에 적용한다.

차 례

제 1 장 일반사항	1
제 1 절 일반사항	1
제 2 절 용어 정의	1
제 2 장 RBI 소개	4
제 1 절 위험도 평가 소개	4
제 2 절 위험도기반 검사 소개	5
제 3 장 RBI 프로그램 수행 절차	8
제 1 절 일반사항	8
제 2 절 RBI 프로그램 계획	8
제 3 절 위험도 평가	12
제 4 절 위험도 관리	21
제 5 절 RBI 평가 업데이트 및 재평가	24
제 6 절 RBI 문서 및 기록 보관	25

제 1 장 일반사항

제 1 절 일반사항

101. 적용

이 지침서는 내압을 받는 산업 설비 및 해양플랜트 설비의 유지 관리 및 검사에 적용한다.

102. 목적

이 지침서는 RBI 프로그램을 수립하고 유지하는 절차 및 요건에 대한 정보 제공을 목적으로 한다.

103. 범위

1. 이 지침서는 다음의 구성요소를 대상으로 한다.

- (1) 압력 용기
- (2) 공정 관로
- (3) 저장 탱크
- (4) 가압 회전기기의 케이싱
- (5) 보일러 및 가열기
- (6) 열교환기
- (7) 압력도출장치

2. RBI의 대상에서 특별히 제외된 항목은 계측 및 제어 시스템, 전기 시스템 및 비 정적기계 구성요소이다.

3. RBI 프로그램의 적용이 대상 설비(예, MODU Code, SOLAS, MARPOL, 기국 법령 등)에 적용될 수 있는 법정 검사 요건을 만족하는 것으로 간주되지는 않는다.

제 2 절 용어 정의

201. 용어 정의

1. **검사(inspection)**라 함은 주기적으로 수행되고 구성요소의 손상 진행을 평가하는 데 사용되는 활동을 말한다. 검사는 NDE 또는 육안 검사를 통해 수행할 수 있다.
2. **검사 계획(inspection plan)**이라 함은 계획된 개별 검사 작업에 대한 정확한 위치, 유형 및 검사 시기를 제공하는 검사 활동의 세부 사항을 말한다.
3. **검사 기술(inspection techniques)**이라 함은 표면 및 장비 준비, 주어진 방법으로 검사 실행 및 적용 범위와 관련하여 검사 방법과 적용 방법의 조합을 말한다.
4. **결과(consequence)**라 함은 사건으로부터 발생하는 결과를 말한다. 사건으로 인해 하나 이상의 결과가 발생할 수 있으며, 결과는 정량적 또는 정성적으로 표현할 수 있다.
5. **고장(failure)**이라 함은 구성요소가 그 기능을 수행하지 못하는 상태와 이에 제한이 있는 상태를 말한다. 고장 조건은 구성요소와의 관계에서 명확하게 정의되어야 한다. 고장은 설계규격을 준수하지 않거나 설정된 위험도 범위를 초과하는 것으로 표현될 수 있으며, 반드시 누설을 의미하지는 않는다. 이 지침서에서 고장은 봉쇄 손실을 의미한다.
6. **고장 결과(consequence of failure, COF)**라 함은 고장에 의해 초래되는 파급 효과를 말한다. 예를 들어, 인적 안전, 경제적 손실, 환경 파괴와 같은 측면에서 표현될 수 있다.
7. **고장 결과 등급(COF ranking)**이라 함은 고장 결과에 대한 정성적 등급을 말한다. 예를 들어, 높음, 보통, 낮음 또는 A, B, C로 표현되는 경우가 많다.
8. **고장 모드(failure mode)**라 함은 고장의 유형 또는 방식을 말한다. 위험도기반 검사에서 주요 고장은 정압력 장치에서의 봉쇄의 손실이며, 예를 들면 균열, 소성 붕괴 및 핀 홀 등이 이에 해당한다.
9. **고장 확률(probability of failure, POF)**라 함은 정해진 기간 내에 구성요소의 고장이 발생할 확률을 말한다.
10. **고장 확률 등급(POF ranking)**이라 함은 고장 확률에 대한 정성적 등급을 말한다. 항목에 대해 다른 항목에 대한 고장 확률을 비교한 등급으로 높음, 보통, 낮음 또는 1, 2, 3로 표현되는 경우가 많다.

11. **구성요소(component)**라 함은 장치 또는 설비의 부분을 구성하는 부품을 말한다. 예를 들면, 압력을 부품을 용접 또는 볼트체결을 통해 조립품을 구성할 수 있는 요소로서 파이프, 노즐, 플랜지, 엘보우, 경판, 외판, 보강링, 지지구조 및 기타 이와 유사한 배관 시스템 또는 장비를 구성하는 데 사용되는 개별 부품을 말한다.
12. **변경 관리(management of change, MOC)**라 함은 변경 사항을 이행하기 전에 선체, 공정, 장비 또는 배관 시스템의 변경사항을 검토하고 승인하는 문서화된 관리 시스템을 말한다.
13. **부식 그룹(corrosion group)**이라 함은 동일한 재료로 구성되고 동일한 내부 및/또는 외부 환경에 노출되어 동일한 잠재 손상 메커니즘을 갖는 구성요소 또는 구성요소의 부분들의 그룹을 말한다. 그룹의 한 부분에 대한 검사 결과가 동일 그룹의 모든 부분과 관련될 수 있도록 그룹을 정의해야 한다.
14. **사건(event)**라 함은 특정 고장 발생과 이로 인해 특정 고장결과로 이르는 일련의 과정을 말한다. 사건은 단일 또는 다중일 수 있다. 주어진 기간 내에 발생하는 사건의 발생 확률을 추정할 수 있다.
15. **상태 감시(condition monitoring, CM)**이라 함은 주어진 열화 메커니즘의 작동을 나타낼 수 있는 구성요소의 물리적 상태 감시를 말한다. 예를 들면, 사건의 육안 검사, 부식 감시, 균열 감시, 벽 두께 감시, 실시간 응력 감시 등이다.
16. **손상(damage)**이라 함은 손상 메커니즘의 작용 요소에 대한 관찰된 효과를 말한다. 손상 유형은 구성 요소의 고장 메커니즘을 발생시킨다. 손상의 예로는 균열, 균일한 벽의 감육 및 핀홀 등이 있다.
17. **손상 메커니즘(damage mechanism 또는 deterioration mechanism)**이라 함은 물질 상태 또는 기계적 특성에 해로운 마이크로 및/또는 매크로 물질 변화를 시간에 따라 유도하는 과정을 말한다. 손상 메커니즘은 일반적으로 악화되고 누적되며 경우에 따라 복구 불가하다. 일반적인 손상 메커니즘으로는 부식, 응력 부식 균열, 크리프, 침식, 피로, 파열 및 열 노화가 포함된다.
18. **열화(deterioration)**라 함은 다양한 물리적 메커니즘(부식, 균열, 취성, 피로)으로 인해 재료의 물리적 특성에 해로운 영향을 미치며 결과적으로 구성요소가 의도한 기능을 제공할 수 없게 되는 재료의 기능 저하를 말한다.
19. **운영자(operator)**라 함은 안전 및 환경에 대한 책임이 있고 시설 운영을 책임지는 기관을 말한다.
20. **위험도(risk)**라 함은 정해진 시간 동안의 원하지 않는 고장의 발생빈도와 그 고장의 결과의 곱을 말한다. 구성 요소에는 고장의 다른 결과 및 발생하는 고장의 다른 확률에 따라 몇 가지 연관된 위험 수준이 있을 수 있다.
 - (1) **경제적 위험도(economic risk)**라 함은 재정적인 측면에서 주어진 고장 확률과 고장 결과의 조합을 말하며, 연간 통화 단위로 표현된다. 경제적 위험도에는 고장으로 인한 재정적 결과로 계산되므로 지연 생산의 가치, 장비와 구조물, 자재 및 수리에 사용된 인력 비용 등을 포함할 수 있다.
 - (2) **환경적 위험도(enviromental risk)**라 함은 환경 피해의 관점에서 주어진 고장 확률과 고장 결과의 조합을 말하며, 연간 체적 또는 연간 통화의 단위로 표현될 수 있다.
21. **위험도기반 검사(risk based inspection, RBI)**라 함은 재료의 열화로 인해 공정 설비에서의 가압 장비의 붕괴의 손실에 초점을 둔 위험도 평가 및 관리 절차를 말한다. 위험도의 관리는 주로 장비에 대한 검사 및 수리를 통해 이루어진다.
22. **위험도기반 검사 프로그램(RBI program)**이라 함은 대상 설비에 대하여 이 지침서에서 제시하고 있는 일련의 절차 및 활동을 통해 정기적 검사를 RBI로 대체하는 엔지니어링 서비스를 말한다.
23. **위험도 분석(risk analysis)**라 함은 대상 설비에서 일어날 수 있는 바람직하지 않은 고장, 고장의 발생 가능성 및 고장 결과의 심각성을 이해하는 과정을 말한다. 보다 정확하게는 위험도를 평가하기 위해 설계 및 운영의 다양한 측면을 성공적으로 통합할 수 있고, 신뢰성, 가용성 및 보존성 엔지니어링, 통계, 의사 결정 이론, 시스템 엔지니어링 및 인간 행동과 같은 분석 기술의 복합체이다. 위험도 분석은 위험도 평가, 위험도 완화 및 위험도 수용을 위한 근거를 제공한다. 정보에는 과거 데이터, 이론적 분석, 정보에 입각한 의견 및 이해 관계자의 우려가 포함될 수 있다.
24. **위험도 허용기준(risk criteria)**라 함은 허용 가능한 위험성을 정의하는 운영자의 객관적인 기준을 말한다. 위험도 허용기준은 관련 비용과 편익, 법적 및 법령 요구 사항, 사회 경제적 및 환경적 측면, 이해관계자의 관심사, 우선 순위 및 기타 평가에 대한 입력 정보들이 포함될 수 있다.
25. **실용 합리적 최소화(as low as reasonably practicable, ALARP)**라 함은 위험성이 무시할 수 있을 만큼 작지 않고(not negligibly low) 견딜 수 없을 만큼 크지 않은(not intolerably high) 영역으로서 위험도 저감을 위해 추가적인 자원의 투입이 더 이상 필요치 않는 수준의 위험도를 말한다.
26. **잠재적 인명 손실(potential loss of life, PLL)**이라 함은 구성 요소의 고장으로 인해 목숨을 잃을 수 있는 인력의 수를 말한다.
27. **정량적 위험도 분석(quantitative risk analysis, QRA)**라 함은 위험요소 식별에 이어 사건의 발생빈도와 사건의 결과 및 그 조합을 정량적으로 평가하여 전반적인 위험도를 산출하는 과정을 말한다.
28. **최적 운전 범위(integrity operating windows, IOW)**는 공정 운전이 정해진 시간 동안 설정된 한계에서 벗어날 경

우 장비의 보존성에 영향을 줄 수 있는 공정 변수에 대해 설정된 한계를 말한다.

29. 직무전문가(subject matter experts, SME)라 함은 공정운용위험분석 대상 시스템의 설계, 건조, 설치, 운영, 폐기 등의 직무 관련 경험과 지식을 보유한 해당 분야의 전문가를 말한다.

30. 턴어라운드(turnaround)라 함은 다음 작동주기를 위해 검사, 유지 관리 또는 개선을 수행하고, 공정 장비를 준비하기 위한 가동 중지 시간을 말한다. ↓

제 2 장 RBI 소개

제 1 절 위험도 평가 소개

101. 위험도

1. 위험도는 관심 기간 동안 어떤 사건이 발생할 확률과 사건과 관련된 결과의 곱이며 다음 식으로 표현된다.

$$\text{위험도} = \text{확률} \times \text{결과}$$

2. 효과적인 위험도 평가는 합리적이고 논리적이어야 하며, 다음의 주요 두 단계를 포함한 구조화된 절차에 따라 수행되어야 한다.
 - (1) 위험도가 얼마나 중대한지 결정한다.
 - (2) 위험도가 허용 가능한지 여부를 결정한다.
3. 일단 위험도가 알려지고 위험도의 크기가 정해지면 위험도를 관리할 수 있다. 위험도 관리는 위험도를 평가하고, 위험도의 완화가 필요한지를 결정하며, 허용 수준에서 위험도를 유지할 계획을 수립하는 과정이다. 위험도 수준이 허용 수준보다 너무 높다고 간주되는 경우 위험도 관리의 차원에서 어떤 형태의 위험도 감소 활동을 통해 위험도를 완화해야 한다.

102. 위험도 평가

1. 위험도 평가는 신용할 수 있는 손상 메커니즘을 식별하고, 고장 확률(POF)을 평가하고, 고장 결과(COF)를 평가하고, 효과적인 위험도 완화 전략을 개발할 수 있는 위험도 요인을 확인하는 것으로 이루어진다.
2. 위험도 분석의 복잡성은 위험도에 영향을 미칠 수 있는 요인의 수에 따라 달라지며 위험도 평가 방법은 엄격한 상대 순위(정성적)에서부터 엄격한 계산(정량적)에 이르기까지 다양하다.
3. 위험도 분석에서 장비 항목이 나타내는 위험도를 적절히 구분하지 않는 접근법의 사용, 또는 데이터가 부족하거나 품질이 낮은 데이터로 인해 유용한 결과를 얻지 못할 수 있다. 또한 분석 결과가 현실적이지 않을 수 있다. 따라서 분석 결과를 바탕으로 의사 결정을 내리기 전에 위험도 분석을 검증해야 한다.
4. 위험도 분석은 정성적, 정량적 또는 준 정량적 방법으로 수행될 수 있다.
 - (1) 정성적 방법
 - (가) 정성적 방법은 고장 확률 및 고장 결과의 분석에 있어서 공학적 판단, 직무전문가(SME)의 지식 및 경험을 사용하여 설명 정보를 기반으로 한 데이터 입력을 필요로 한다. 입력은 종종 개별 값 대신 데이터 범위로 제공된다. 결과는 일반적으로 높음, 보통 및 낮음과 같은 정성적인 용어로 주어지지만 수치값 또한 이 범주와 연결시킬 수 있다. 이 분석 방법의 가치는 상세한 정량적 데이터가 없는 경우에도 위험도 평가를 완료할 수 있다는 것이다. 정성적 분석 결과의 정확성은 위험도 분석가와 팀원의 배경 및 전문성에 달려 있다.
 - (나) 정성적 방법은 정량적 방법보다 덜 정확하지만, 위험도가 낮은 장비와 장치의 선별에 효과적이다. 덜 정확하다는 것이 항상 정성적 방법이 덜 정확하다는 것을 의미하지는 않는다. 그러나 정성적 평가는 일반적으로 정량적 평가만큼 반복되지 않는다. 정성적 방법은 검사 계획 개발의 모든 측면에 사용될 수 있다. 그러나 최종 완화 및 검사 계획 결정을 내릴 때는 일반적으로 더 정성적 방법과 관계된 보수성이 고려되어야 한다.
 - (2) 정량적 방법
 - (가) 정량적 방법은 수치 기반의 계산 방법이며, 보다 신중한 입력 데이터가 사용되는 모델 기반 방법이다. 정량적 방법의 장점은 다음과 같다.
 - (a) 위험도 허용기준에 도달하거나 초과할 때 결과에 대한 정밀 계산
 - (b) 위험도 완화의 우선순위를 부여하는 장비 위험도 사이의 구별
 - (c) 시간 경과 및 기타 측정 기준에 따른 위험도 노출 감시 및 추이
 - (d) 고장 확률의 추세 및 비교와 같은 신뢰성 관리의 벤치마킹
 - (나) 정량적 방법은 보다 체계적이고 일관성 있고 문서화되어 있으며 정성적 방법보다 검사 결과를 업데이트하기 쉽다. 정량적 방법은 일반적으로 위험도를 계산하고 검사 프로그램 권장 사항을 개발하기 위해 소프트웨어 프로그램을 사용한다. 모델은 초기에는 데이터 집약적이지만 모델을 사용하면 기존의 검사 계획 과정에서 반복적인

- 세부 작업이 제거된다.
- (다) 정량적 방법은 위험도 매트릭스 또는 위험도 도표에서 장비 위험도의 우선순위를 정하는 방법의 요점을 설명한다. 높은 위험도에서 낮은 위험도로 우선순위를 지정하기 위해 개별 위험도를 계산한다. 장비의 예상 위험도는 고장 확률과 고장 결과를 결합하여 산출한다. 장비 품목은 고장 확률과 고장 결과에 의한 위험도 및 위험도를 유발하는 주요 요인 또는 위해요소의 식별을 돕기 위해 개별적으로 보고 및 계산되는 위험도를 기준으로 순위가 매겨진다.
 - (3) 준 정량적 방법
 - (가) 준 정량적 방법은 정량적 및 정성적 방법 모두에서 파생된 측면을 가진 접근법을 의미한다. 정량적 방법과 정성적 방법의 주요 이점을 얻는 데 도움이 된다. 일반적으로 정량적 방법에 사용되는 대부분의 데이터가 이 방법에 필요하지만 덜 상세하다. 모델은 정량적 방법에 사용된 것과 같이 엄격하지 않을 수 있다. 결과는 일반적으로 결과 및 확률 범주 또는 위험도 숫자로 표시되지만, 위험도를 계산하고 적절한 위험도 허용기준을 적용할 수 있도록 수치값을 각 범주와 연결하여 생각할 수 있다.
5. 위험도 평가는 수행 목적에 따라 선별 평가와 세부 평가로 구분할 수 있다.

- (1) 선별 평가
 - (가) 선별 과정의 목적은 위험도 수준에 대한 기여도가 높은 것으로 판단되는 요소를 상위 수준에서 식별하는 것이다. 이를 통해 추가 정보 수집 및 평가 노력이 이러한 요소에 집중될 수 있다. 설비가 주어진 경우, 시설별, 그룹별 또는 주요 장비 품목별로 위험도의 식별에 전형적으로 정성적 방법의 위험도 평가가 수행된다. 설치 이력과 향후 계획 및 가능한 구성요소의 열화에 대한 지식을 바탕으로 고장 확률 및 고장 결과는 각각 3장 304.의 표 1 및 305.의 표 2와 같이 평가되며, 그림 1과 같이 위험도 매트릭스에 표현할 수 있다.
 - (나) 일반적으로 위험도가 낮은 품목은 유지 보수가 지원하는 최소한의 검사를 필요로 한다. 중간 또는 높음으로 분류된 품목은 세부 평가를 필요로 한다.

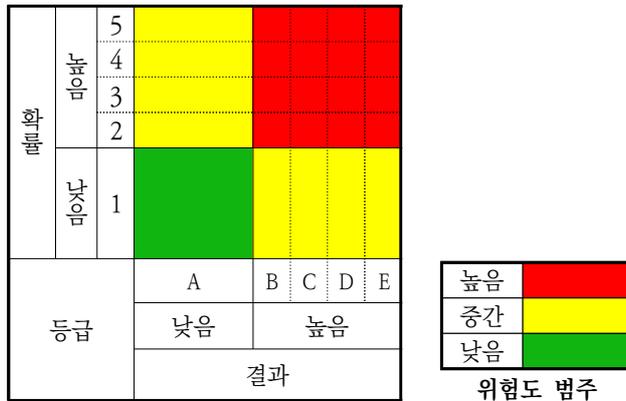


그림 2 선별 평가 위험도 매트릭스(예)

- (2) 세부 평가
 - (가) 선별 평가에서 중간 및 높음으로 분류된 항목은 보다 상세하게 고려해야 하는 항목이다. 즉, 하위 수준으로 세분화하여 정량적 또는 준 정량적 방법으로 위험도 평가를 해야 한다.
 - (나) 이 평가의 목표는 관련 손상 메커니즘을 확인하고 고장 범위를 추정하며 검사가 수행되어야 할 시기를 추정하고 실용 합리적 최소화(ALARP) 수준의 위험도를 보장하기 위해 검사 대상, 검사 시기 및 검사 방법을 제안하는 것이다.

제 2 절 위험도기반 검사 소개

201. 검사

- 1. 검사는 설비의 위험도를 관리하고 최소화하는데 기여하는 유지 관리를 위한 많은 대표적인 활동 중 하나이다. 검사를 통해 설비에서의 열화 발생 여부를 확인하고, 열화 진행 상황을 측정하며, 보존성을 유지할 수 있도록 조치할 수 있다. 즉, 설비의 보존성이 설계 의도에 맞게 유지되도록 하여야 한다.

2. 검사 자체가 손상 메커니즘의 진행을 억제 또는 완화시키거나, 위험도를 감소시키는 것은 아니지만 효과적인 검사를 통해 얻은 정보를 이용해 실제 위험도를 더 정확하게 정량화할 수 있게 한다. 검사가 위험도 완화 활동과 연계되지 않는 한, 대상 장비의 임박한 고장은 피할 수 없다.
3. 검사에 대해 유의해야 할 중요한 사항은 다음과 같다.
 - (1) 검사 활동은 자산 상태에 대해 구체적이고 적절하며 정확하고 시기적절한 정보를 경영진에게 제공한다.
 - (2) 그 성과에 대한 위험도 및 정책을 적절하게 고려하여 검사 활동을 계획하고 실행한다.
 - (3) 자산 보존성에 대한 위험은 자산 보존성이나 안전성에 큰 영향을 미치지 않으면서 비용 효과적으로 해결할 수 있도록 충분히 일찍 식별되어야 한다.
 - (4) 자산 기록부는 자산 상태 및 검사 기록과 함께 현행 상태로 유지 관리되어야 한다.
 - (5) 생산 운전 전에 대한 해로운 영향을 최소화하는 한편, 시설 및 장비 상태에 보장된 필요 수준을 제공하기 위해 검사 활동의 일정을 잡는다.
 - (6) 장비는 검사 활동 전후의 장비 상태에 대한 적절한 정보 교환을 보장하는 공식적인 절차에 따라 검사요원과 운영요원 간에 인도되어야 한다.
 - (7) 검사 활동은 해당 성과에 대하여 적절한 검증을 받아야 한다.

202. 위험도기반 검사(RBI)

1. RBI는 검사 계획의 수립을 위해 고장 결과 및 고장 확률을 반영한 의사 결정 기술이다. 이는 최적화된 검사의 개발을 돕기 위해 설계된 공식적인 접근법이며, 생산시설에 대한 감시 및 검사 계획에 대한 권장 사항이다. 이는 자산의 보존성과 생산을 통한 수익 창출 능력에 대한 위험을 명시적으로 다루기 위한 검사 활동에 중점을 둔다.
2. RBI는 열교환기, 탱크, 압력 용기 및 필터를 포함한 용기류 및 관로에 대해 수행된다. RBI의 범위는 탄화수소의 보관 또는 유용하는 모든 압력 시스템을 포함한다.
3. 개별 항목에 대해 RBI 분석을 수행하기 위해 고장 확률과 고장 결과는 별도로 평가된다. 그런 다음 위험도를 얻기 위해 이 두 요소를 결합한다. 이 평가는 안전(인명 사망 및 부상 해결), 환경(환경 손상 해결) 및 경제적(재정적 손실 해결) 영향에 대해 각각 수행한다.
4. 위험도 평가를 통한 검사 계획의 수립에 필요한 결과를 얻을 수 있다.
 - (1) 고 위험도 구성요소에 대한 우선순위 (무엇을 검사할 것인가?)
 - (2) 검사주기의 결정 (언제 검사할 것인가?)
 - (3) 예상되는 손상 메커니즘 (어디를 검사할 것인가?)
 - (4) 최적의 검사 방법 (어떻게 검사할 것인가?)
 - (5) 지속적 개선을 위한 데이터의 요건 (무엇을 보고할 것인가?)
5. 위험도 평가는 102.의 5항과 같이 정성적, 정량적 또는 준 정량적 방법으로 수행될 수 있다. 위험도 평가 방법의 선택은 다음과 같은 요건에 따라 달라질 수 있다.
 - (1) 시설, 공정 장치, 시스템, 장비 품목 또는 구성요소 수준
 - (2) 평가 목적
 - (3) 데이터 가용성 및 품질
 - (4) 자원 가용성
 - (5) 인지되거나 이전에 평가된 위험
 - (6) 시간 제약

203. RBI의 혜택과 한계

1. RBI 평가 및 유지 관리 방법의 주요 작업 결과물은 개별 장비 수준에서 위험도를 관리하는 방법을 다루는 계획이다. 이 장비 계획은 안전, 환경 및/또는 경제 관점에서 위험도를 강조한다. RBI 계획에는 예상되는 위험도 완화와 함께 비용 효율적인 조치가 포함되어야 한다. 이러한 계획의 실현은 다음 중 하나를 제공한다.
 - (1) 평가된 시설 및 장비에 대한 전반적인 위험도 감소
 - (2) 현재 위험도의 수용/이해
2. RBI 계획은 또한 장비의 현재 운전과 관련된 허용 가능한 위험도 수준으로 인해 검사 또는 다른 형태의 완화를 요구하지 않는 장비를 식별한다. 이러한 방법으로 검사 및 유지 관리 활동에 보다 비용 효율적이고 집중될 수 있다. 이로 인해 수집되는 검사 데이터의 양이 크게 줄어들 수 있다. 소량의 데이터 세트에 중점을 두면 보다 정확한 정보를 얻을 수 있다. 경우에 따라 위험도 저감 및 공정 안전성 개선 외에도 RBI 계획에 따라 비용이 절감될 수 있다.

3. RBI는 건전하고 검증된 위험도 평가 및 관리 원칙을 기반으로 한다. 그럼에도 불구하고 RBI가 다음을 보완하지는 않는다.

- (1) 부정확하거나 누락된 정보
- (2) 부적절한 설계 또는 장비 설치 결함
- (3) 허용 가능한 최적 운전 범위 밖의 운영
- (4) 계획을 효과적으로 실행하지 않는 것
- (5) 자격을 갖춘 인력 또는 팀워크 부족
- (6) 건전한 공학적 또는 운영상 판단의 부족 ↓

제 3 장 RBI 프로그램 수행 절차

제 1 절 일반사항

101. 일반사항

1. 이 절에서는 RBI 프로그램을 개발하는 데 사용되는 일반적인 방법론을 설명하지만 이 절에서 설명한 개발 과정의 단계가 포함된다면 다양한 방법론이 적용될 수 있다. RBI 프로그램 수행 단계 중 하나라도 빠져 있거나 일반적인 산업 규격 및 표준과 크게 다른 방법으로 고려되는 경우 방법론의 적절성에 대한 적절한 기술적 설명이 필요하다.
2. RBI 프로그램 개발을 위한 일반적인 절차는 다음과 같다.
 - (1) RBI 프로그램 계획
 - (2) 위험도 평가
 - (3) 위험도 관리
 - (4) RBI 평가 업데이트 및 재평가

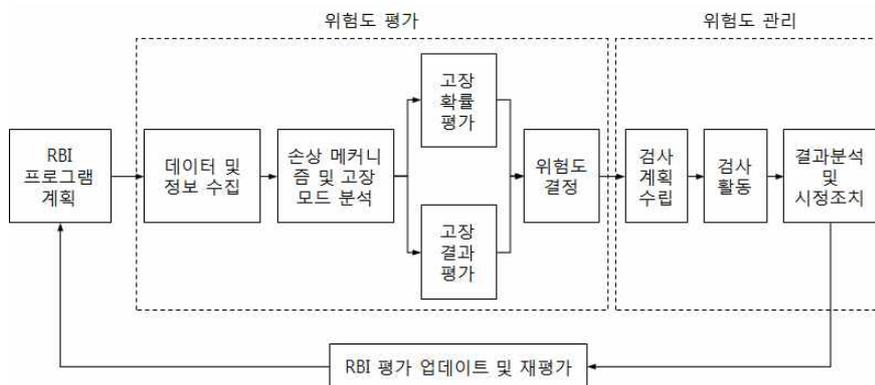


그림 4 RBI 프로그램 수행 절차

제 2 절 RBI 프로그램 계획

201. 일반사항

1. 이 절은 RBI 접근법이 자산에 적절하고 유익한지 여부를 결정하려는 운영자를 지원한다.
2. RBI 평가는 여러 분야의 지식과 적절한 자격을 필요로 하는 팀 기반 절차이다. RBI 프로그램을 계획하기 전에 다음 질문을 통해 필요성 및 타당성을 확인한다.
 - (1) 왜 평가가 진행되고 있는가?
 - (2) RBI 평가는 어떻게 수행될 것인가?
 - (3) RBI 평가를 위해 필요한 지식과 기술은 무엇인가?
 - (4) RBI 팀에 누가 있는가?
 - (5) RBI 과정에서 팀의 역할은 무엇인가?
 - (6) 누가 어떤 행동에 책임이 있고 책임을 져야하는가?
 - (7) 어떤 시설, 자산 및 구성요소가 포함되는가?
 - (8) RBI 평가에 어떤 데이터가 사용되는가?
 - (9) 어떤 규격 및 표준이 적용 가능한가?
 - (10) RBI 평가가 언제 완료되는가?
 - (11) RBI 평가가 얼마나 오랫동안 유효하고 언제 업데이트되어야 하는가?
 - (12) 결과가 어떻게 사용될 것인가?
 - (13) 계획 기간은 얼마나 되는가?

3. RBI 프로그램의 계획을 위해서는 다음 절차가 완료되어야 한다.

- (1) RBI 팀을 구성한다
- (2) RBI 프로그램의 목적을 수립한다.
- (3) 자산 경계를 설정한다.
- (4) 운전 경계를 설정한다.
- (5) 수립된 위험도 분석의 목적 및 식별된 물리적 경계와 운영적 경계와 일치하는 대상 선정 질의와 기준을 개발한다.

202. RBI 팀 구성

1. 효과적인 RBI 프로그램 계획을 수립하려면 필수 능력, 강력한 기술력, 관련 배경을 가진 여러 분야의 인력이 필요하다. RBI 팀은 RBI 프로그램 계획 수립 전에 모든 적절한 정보를 수집하고 준비하는 것을 주요 목표로 한다. RBI 팀은 아래의 분야에서 전문성을 가진 1명 이상의 인력으로 구성되어야 한다.

- (1) 위험도 평가 및 관리
- (2) 장치 검사원 및 검사 인력
- (3) 구조 보존성 및 신뢰성 분석
- (4) 재료 및 부식 분석
- (5) 화학 및 공정
- (6) 운전 및 유지 관리
- (7) 안전, 보건, 환경
- (8) 재무 및 비즈니스 분석
- (9) 조선

2. RBI 팀의 구체적인 구성은 시설의 복잡성, RBI 프로그램의 범위 및 적용 가능한 규제 요건에 따라 다르다. 일부 분야는 고문을 활용할 수 있지만, 핵심 팀은 지속성을 위해 필수적이다.

3. 각 구성원은 일대기 또는 기타 허용 가능한 형식을 사용하여 해당 분야에 대한 경험 및 역량 증거를 제공해야 한다. 위험도 평가 및 관리 인력은 교육, 훈련 또는 경험을 통해 위험도 분석을 철저히 이해해야 한다. 선발된 인력이 필수 능력이 부족한 경우, RBI 프로그램 계획에 사용할 RBI 방법론 및 절차에 대해 종합적인 교육을 받아야 한다.

203. RBI 프로그램의 목적 수립

1. RBI 평가는 RBI 팀의 모든 구성원과 경영진이 이해할 수 있는 명확한 목적과 목표 하에 수행되어야 한다. 예를 들어, 다음 각 호는 RBI 평가의 목적이 될 수 있다.

- (1) 위험도 허용기준을 결정한다.
- (2) 위험도를 관리한다.
- (3) 비용을 절감한다.(일반적으로 RBI 평가의 주목적은 아니다.)
- (4) 안전 및 환경 규정을 충족한다.
- (5) 위험도 완화 조치를 식별한다.
- (6) 신설 프로젝트의 위험도를 평가한다.
- (7) 잔존 수명 평가와 함께 수명 연장을 검토한다.

204. 자산 경계 설정

1. RBI 프로그램에 포함된 물리적 자산의 경계는 전체 목적과 일치하여 설정되어야 한다. 검토할 자료의 수준과 목표를 달성하는 데 사용할 수 있는 자원은 평가할 수 있는 물리적 자산의 범위에 직접적인 영향을 미친다. RBI 평가의 범위는 시설과 단일 설비 내의 단일 구성요소 간에 다를 수 있다. 전형적으로, RBI는 단일 구성요소가 아닌 다수의 장비에서 수행된다.

2. 시설 선별

- (1) 시설 수준에서 RBI는 다음을 포함한 모든 유형의 시설에 적용할 수 있다.
 - (가) 석유 및 가스 생산 시설
 - (나) 석유 및 가스 처리 및 운송 터미널
 - (다) 정유시설
 - (라) 석유 화학 및 화학 시설
 - (마) 관로 및 관로 스테이션

- (바) 액화 천연 가스 시설.
- (2) 시설 수준에서 선별은 단순화된 정성적 RBI 평가에 의해 수행될 수 있다. 시설 수준에서의 선별은 다음과 같이 수행할 수도 있다.
 - (가) 자산 또는 제품 가치
 - (나) 각 시설에서의 문제/고장 내역
 - (다) PSM/비PSM 시설
 - (라) 시설의 연령
 - (마) 대중과의 근접성
 - (바) 환경에 민감한 지역과의 근접성
- (3) 시설 수준에서 답변해야 할 주요 질문의 예는 다음과 같다.
 - (가) 시설이 RBI에 근거한 법정 검사 간격에 대한 수정을 수용하는 규제 관할 구역에 있는가?
 - (나) 시설 경영진이 RBI의 이점을 달성하는 데 필요한 자원에 투자 할 의사가 있는가?
 - (다) 시설에 RBI 평가를 수행하고 RBI 프로그램을 유지할 수 있는 충분한 자원과 전문 지식이 있는가?

3. 공정 장치 선별

- (1) RBI 평가 범위가 다중장치 시설인 경우 RBI 적용의 첫 번째 단계는 전체 공정 장치를 선별하여 상대적 위험도를 평가하는 것이다. 선별은 우선 순위가 높은 영역을 가리키며 시작할 공정 장치를 제안한다. 또한 다양한 장치의 운영 체제 및 장비 항목에 필요할 수 있는 평가 수준에 대한 통찰력을 제공한다.
- (2) 다음 중 하나에 따라 우선 순위를 지정할 수 있다.
 - (가) 공정 장치의 상대적 위험도
 - (나) 공정 장치의 상대적 경제적 영향
 - (다) 공정 장치의 상대적 고장 결과
 - (라) 공정 장치의 상대적 신뢰성
 - (마) 턴어라운드 일정
 - (바) 유사한 공정 장치에 대한 경험
- (3) 공정 장치 수준에서 답변해야 하는 주요 질문의 예는 시설 수준의 질문과 유사하다.
 - (가) 공정 장치가 시설 운영에 중대한 영향을 미치는가?
 - (나) 공정 장치의 운전과 관련하여 중대한 위험도가 있는가? 그리고 위험도 감소의 영향을 측정할 수 있는가?
 - (다) 공정 장치 운영자는 RBI의 적용을 통해 어떤 혜택을 얻을 수 있다는 것을 알고 있는가?
 - (라) 공정 장치에 RBI 평가를 수행할 수 있는 충분한 자원과 전문 지식이 있는가?
 - (마) 이 장치의 고장 이력은 무엇인가?

4. 공정 장치 내 시스템 선별

- (1) 공정 장치 내 장비들을 공정 화학적 성질, 압력 및 온도, 야금, 장비 설계 및 작동 이력에 근거하여 공통 환경 운전 조건이 존재하는 시스템, 폐회로 또는 회로로 그룹화하는 것이 종종 유리하다. 공정 장치를 시스템으로 나누면 각 장비를 개별적으로 처리하는 것에 비해 시간을 절약하여 장비를 함께 선별할 수 있다. 시스템에서 각 장비의 위험도가 공정 조건의 변화에 공통 민감성을 보이는 경우, 선별은 전체 시스템에 대한 공통 변수 및 범위를 갖는 하나의 단일 최적 운전 범위(IOW)를 설정할 수 있다.
- (2) 장치에 대한 블록 흐름 또는 공정 흐름 도표(process flow diagram)를 사용하여 야금, 공정 조건, 신뢰할 수 있는 손상메커니즘 및 내역상 문제에 대한 정보를 포함한 시스템을 식별 할 수 있다.
- (3) RBI 평가를 위해 공정 장치가 식별되고 전체 최적화가 목표인 경우 일반적으로 장치 내에 모든 시스템을 포함시키는 것이 가장 좋다. 자원 가용성과 같은 실제 고려 사항은 RBI 평가가 장치 내의 하나 이상의 시스템으로 제한되어야 할 수도 있다. 시스템 선택은 다음을 기반으로 할 수 있다.
 - (가) 시스템의 상대적 위험도
 - (나) 시스템의 상대적 고장 결과
 - (다) 시스템의 상대적 신뢰성
 - (라) 시스템에 RBI를 적용함으로써 기대되는 이익
 - (마) 공정 조건의 변화에 대한 위험도의 민감성

5. 장비 품목 선별

- (1) 대부분의 시설에서 전체 장치 위험도의 상당 부분이 상대적으로 낮은 비율의 장비 품목에 집중된다. 이러한 잠재적 위험도가 높은 항목은 위험도 평가에서 더 많은 주의를 기울여야 한다. 더 자세한 위험도 평가를 수행하기 위

해 더 높은 위험 항목을 식별하기 위해 장비 항목을 선별하는 경우도 있다.

- (2) RBI 평가는 다음과 같은 모든 압력 유지 장비에 적용될 수 있다.
- (가) 관로(pipeline)
 - (나) 압력 용기
 - (다) 원자로
 - (라) 열교환기
 - (마) 난로(furnace) 및 보일러
 - (바) 탱크
 - (아) 펌프(압력 경계)
 - (자) 압축기(압력 경계)
 - (차) 감압 장치
 - (카) 제어 밸브(압력 경계)
- (3) 포함 할 장비 유형의 선택은 203.에서 논의된 목표를 충족시키는 것을 기반으로 한다. 포함할 장비를 선별할 때 다음과 같은 문제가 고려될 수 있다.
- (가) 손상 장치로 인해 보호 장비의 보존성이 손상되는가?
 - (나) 어떤 유형의 장비가 가장 신뢰성 문제가 있는가?
 - (다) 압력 경계 고장이 있는 경우 고장 결과가 가장 높은 장비는 무엇인가?
 - (라) 압력 경계 봉쇄에 영향을 줄 수 있는 가장 열화되기 쉬운 장비는 무엇인가?
 - (마) 압력 경계 봉쇄 고려사항에 영향을 줄 수 있는 더 낮은 부식 여유 및/또는 설계 안전 여유를 가진 장비는 무엇인가?

205. 운전 경계 설정

1. 물리적 자산 경계와 마찬가지로 RBI 프로그램의 운전 경계는 평가 목적, 검토할 자료 수준 및 자원과 일치하여 설정하여야 한다. 운전 경계를 설정하는 목적은 열화에 영향을 줄 수 있는 핵심 공정 매개 변수를 식별하는 것이다. RBI 평가에는 정상 작동 조건에 대한 고장 확률 및 고장 결과 검토가 일반적으로 포함된다. 시동 및 정지 조건은 물론 비상 및 비정상 조건도 고장 확률 및 고장 결과에 대한 잠재적 효과에 대해 검토해야 한다. RBI 평가에 사용된 운전 조건은 위험도 평가를 위한 운전 경계로서 기록되어야 한다. 경계 내에서의 운전은 RBI 평가의 타당성뿐만 아니라 좋은 운전 사례의 기본이다. 설비가 운전 경계(예, 최적 운전 범위) 내에서 유지되는지 여부를 결정하기 위해 장비 보존성에 영향을 줄 수 있는 주요 공정 매개 변수를 설정하고 감시하는 것이 중요하다.
2. 시동 및 정지 동안의 공정 조건은 특히 정상 조건보다 더 가혹한(열화의 가속을 유발) 경우, 위험도에 상당한 영향을 미칠 수 있으므로 RBI 평가에서 다루는 모든 장비에 대해 고려되어야 한다. 시동 관로는 공정 관로 내에 포함되는 경우가 많으며 시동 및 후속 작업 시 영업서비스 조건을 고려해야 한다.
3. 시설 또는 공정 장치에서 사용 가능한 공정 흐름도(process flow diagram) 또는 물질수지(mass balance)가 있는 경우 정상 작동 조건은 쉽게 제공된다. 그러나 RBI 결과에 실질적으로 영향을 미칠 수 있는 설계 조건과 운전조건 사이의 불일치를 발견하는 것은 드문 일이 아니므로, 문서에서 식별된 정상 운전 조건은 장치 운전 담당자가 확인해야 한다. 다음 데이터를 제공해야 한다.
 - (1) 변동 범위를 포함한 작동 온도 및 압력
 - (2) 공급 조성 범위의 변화를 포함하는 공정 유체의 조성
 - (3) 변동 범위를 포함한 유속
 - (4) 수분 또는 다른 오염 물질의 존재
4. RBI 평가에서 장치 비정상 또는 이상 상태로 인한 압력, 온도 또는 유체 구성과 같은 공정의 변화를 고려해야 한다.
5. 주기적 작동을 하는 시스템에 대한 RBI 평가는 완전한 주기 범위의 조건을 고려해야 한다. 주기적인 또는 간헐적인 조건은 기계적 피로, 열 피로, 부식 피로 및 단열재 하 부식과 같은 일부 손상 메커니즘으로 인해 고장 확률에 영향을 줄 수 있다.
6. 선택한 공정 장치/장비의 단위 운전 기간은 고려해야 할 중요한 한계이다. RBI 재평가는 전체 운영 수명이 포함되거나 선택된 기간 동안 있을 수 있다. 예를 들어, 유지 보수 활동을 위해 때때로 공정 장치가 종료되며 연관된 운전 길이는 장치의 장비 상태에 따라 달라질 수 있다. RBI 분석은 현재 운전 기간에 증점을 두거나 현재 및 다음 예상 운전 기간을 포함할 수 있다. 이 기간은 또한 검사, 수리, 교체, 운영 등과 같은 조사의 결과인 결정 유형 및 검사 계획에 영향을 줄 수 있다. 예상 운영 변경은 운영 기간의 근거로서 중요하다.

제 3 절 위험도 평가

301. 일반사항

1. RBI 수행에서 위험도 분석을 위한 논리적 절차는 다음과 같다.
 - (1) 필요한 데이터와 정보를 수집하고 검증한다.
 - (2) 손상 메커니즘을 확인하고, 선택적으로 각 메커니즘(예 : 일반 금속 손실, 국소 금속 손실, 천공)에 대한 고장 모드를 결정한다.
 - (3) 손상 민감성 및 속도를 결정한다.
 - (4) 각 손상 메커니즘에 대해 정의된 시간 프레임을 통해 고장 확률(POF)을 결정한다.
 - (5) 신뢰할 수 있는 고장 모드(작은 누출, 큰 누출, 파열)를 결정한다.
 - (6) 고장 모드에서 발생하는 신뢰성 있는 결과 시나리오(고장 결과) 식별한다.
 - (7) 고장 확률과 고장으로 인한 특정 결과 시나리오의 발생 확률을 고려하여 각 결과 시나리오의 확률을 결정한다.
 - (8) 민감도 분석을 포함하여 위험도를 결정하고 일관성/합리성에 대한 위험도 분석 결과를 검토한다.

302. 데이터 및 정보 수집

1. 필수 데이터는 RBI 평가 방법에 따라 입력 정보의 양과 깊이, 계산 및 결과에 기본적인 차이가 있다. RBI 분석을 위하여 필요한 전형적인 데이터는 다음과 같으며, 이에 한정되지는 않는다.
 - (1) 장비 유형
 - (2) 건축 자재
 - (3) 검사, 수리 및 교체 기록
 - (4) 공정 유체 조성물
 - (5) 유체 비축량
 - (6) 운전 조건
 - (7) 안전 시스템
 - (8) 탐지 시스템
 - (9) 손상 메커니즘, 비율 및 심각도
 - (10) 인력 밀도
 - (11) 코팅, 클래딩 및 단열 데이터
 - (12) 영업 중단 비용
 - (13) 장비 교체 비용
 - (14) 환경 개선 비용
2. 특정 정보의 잠재적 출처는 다음과 같지만, 이에 한정되지는 않는다.
 - (1) 설계 및 시공 기록 및 도면
 - (가) P&ID, 공정 흐름도(PFD), 재료 선택도 (MSD) 등
 - (나) 관로 isometric 도면
 - (다) 엔지니어링 명세표
 - (라) 건축 기록물
 - (마) 건설 품질 보증/품질 관리(QA/QC) 기록
 - (바) 사용된 규정 및 표준
 - (사) 보호 계기 시스템
 - (아) 누출 탐지 및 감시 시스템
 - (자) 차단 시스템
 - (차) 재고 목록 기록
 - (카) 비상 감압 및 구호 시스템
 - (타) 안전 시스템
 - (파) 방화 및 소방 시스템
 - (하) 레이아웃
 - (2) 검사 기록
 - (가) 일정 및 빈도

- (나) 검사의 양과 유형
- (다) 수리 및 변경
- (라) 합금 재질 분석(PMI) 기록
- (마) 검사 결과
- (3) 공정 데이터
 - (가) 오염물 또는 미량 성분을 포함하는 유체 조성 분석
 - (나) 분산 제어 시스템 데이터
 - (다) 운전 절차
 - (라) 시동 및 정지 절차
 - (마) 비상 절차
 - (바) 운전 로그 및 공정 기록
 - (사) PSM/PSI, PHA, RCM, FMEA 및 QRA 데이터 또는 보고서
- (4) 변경 관리 기록
- (5) 외부 데이터 및 정보(결과가 외부 지역에 영향을 줄 수 있는 경우)
- (6) 고장 데이터
 - (가) 일반적인 고장 빈도 데이터(산업 또는 사내)
 - (나) 산업별 고장 데이터
 - (다) 시설 및 장비 별 고장 데이터
 - (라) 신뢰성 및 상태 감시 기록
 - (마) 누출 데이터
- (7) 현장조건
 - (가) 기후/기상 기록
 - (나) 지진 활동 기록
- (8) 장비 교체 비용
 - (가) 프로젝트 비용 보고서
 - (나) 산업 데이터베이스
- (9) 위험요소 데이터
 - (가) PSM 보고서
 - (나) PHA 보고서
 - (다) QRA 보고서
 - (라) 기타 지역별 위험 또는 유해성 연구
- (10) 사고 조사

303. 손상 메커니즘 및 고장 모드 분석

1. 위험도 평가에 포함된 장비에 대한 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘 및 고장 모드를 식별하는 것은 위험도 평가의 품질과 효율성에 필수적이다.
2. 손상 메커니즘에는 부식, 균열, 기계적 및 재료적 손상이 포함된다. 손상 메커니즘을 이해하는 것은 다음과 같은 경우에 중요하다.
 - (1) 고장 확률의 분석
 - (2) 적절한 검사 간격/기일, 장소 및 기술 선택
 - (3) 특정 손상 메커니즘의 가능성을 제거하거나 줄일 수 있는 의사 결정 능력
3. 고장 모드는 손상된 부품이 파손되는 방식(핀홀, 연성 파열, 취성 균열, 피로 균열 등)을 식별한다. 고장 모드를 이해하는 것은 다음 세 가지 이유로 중요하다.
 - (1) 고장 결과의 분석
 - (2) 가동 또는 수리의 의사 결정
 - (3) 수리 기술의 선택
4. 위험도 평가에 포함된 장비에 대한 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘 및 고장 모드를 식별하는 것은 위험도 평가의 품질과 효율성에 필수적이다. RBI 팀은 부식 전문가와 협의하여 장비의 손상 메커니즘 및 잠재적 고장 모드를 정의해야 한다. 순차적인 절차는 다음과 같다.

- (1) 장비 설계(압력, 온도 및 건축 자재) 및 현재 상태가 고려되어야 한다. 사용된 데이터 및 가정은 검증되고 문서화되어야 한다.
 - (2) 시동, 정지, 유휴, 예상되는 비정상 및 정상 등 모든 공정 조건 및 계획된 공정 변경이 고려되어야 한다. 미량 성분이 손상 메커니즘에 중요한 영향을 미칠 수 있기 때문에 공정의 주요 성분 이외에 미량 성분(ppm)을 확인하는 것은 매우 중요하다.
 - (3) 제조의 세부사항, 재료 및 방법을 고려하여 과거 운전 중에 존재했거나, 현재 활성화되어 있거나 활성화될 수 있는 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘의 목록은 1차 손상 메커니즘에 대한 열화 속도 및 손상 형태에 대한 장비의 허용 오차를 포함하여 작성되어야 한다.
 - (4) 특정 상황 하에서 특정 손상 메커니즘을 나열한 다음 손상 메커니즘이 나타날 수 있는 다양한 손상 모드 또는 방법을 열거하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 손상 메커니즘 "단열재 하 부식(corrosion under insulation)"은 전면적인 부식 또는 국부적인 부식의 손상 모드 발생을 촉진할 수 있다. 국부적인 부식이 핀홀 형식의 균열을 야기할 수 있는 반면 전반적인 부식은 큰 부식을 초래할 수 있다. 각 손상 메커니즘에 대한 모든 신뢰할 수 있는 고장 모드를 고려해야 한다.
 - (5) 동일한 장비 또는 관로 구성 요소에서 동시에 작용하는 두 가지 이상의 손상 메커니즘이 종종 있을 수 있다. 이러한 예는 응력 부식 균열이 전반적인 또는 국부적인 부식과 함께 일어나는 것일 수 있다.
5. 장비 운전과 공정 환경 및 기계적 환경과의 상호 작용에 대한 이해는 손상 메커니즘을 식별에 중요하다. 공정 전문가 는 부식 전문가가 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘 및 비율을 확인하는 데 도움이 되는 유용한 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어, 국부적으로 두께가 얇아지는 것(감육)은 유체 주입 및 교반 방법에 의해 야기될 수 있다는 것을 이해하는 것은 부식 메커니즘을 아는 것만큼 중요할 수 있다.
6. 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘이 확인되면 관련 고장 모드도 식별해야 한다. 예를 들어, 국부적으로 두께가 얇아지면 압력이 걸리는 경계에서 핀홀 누출이 발생할 수 있다. 각 손상 메커니즘에 대해 하나 이상의 신뢰할 수 있는 고장 모드가 있을 수 있다. 예를 들어, 균열은 파손 전의 누출이 있는 관통벽 균열로 이어지거나 파열로 이어질 수 있다. 고장 모드는 균열의 유형, 균열의 기하학적 방위, 구조물 재료의 특성, 구성 요소의 두께, 온도 및 응력 수준에 따라 달라진다. 고장 모드의 예는 다음과 같다.
- (1) 핀홀 누출
 - (2) 소·중량 누출
 - (3) 대량 누출
 - (4) 연성 파열
 - (5) 취성 균열
 - (6) 피로 균열
7. 손상 속도는 손상 메커니즘이 진행됨에 따라 달라질 수 있다. 경우에 따라 하나의 메커니즘에 의한 손상이 다른 메커니즘에 인계되어 손상 속도를 지배하기 시작하는 지점으로 진행될 수 있다. 손상 메커니즘 및 고장 모드의 평가에는 각 메커니즘의 누적 효과가 포함되어야 한다.
8. RBI를 위한 손상 메커니즘 및 고장 모드의 평가결과는 다음과 같이 식별하여야 한다.
- (1) 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘 목록
 - (가) 예: 외부 부식
 - (2) (1)호의 손상 메커니즘에서 야기된 신뢰할 수 있는 손상 모드 목록
 - (가) 예 1: 국부적인 감육(localized thinning)
 - (나) 예 2: 전반적인 감육(general thinning)
 - (3) (2)호의 손상 모드에서 야기된 신뢰할 수 있는 고장 모드
 - (가) 예 1: 국부적인 감육
 - 고장모드 1: 핀홀 누출
 - 고장모드 2: 소량 누출
 - (나) 예 2: 전반적인 감육
 - 고장모드 1: 핀홀 누출
 - 고장모드 2: 소량 누출
 - 고장모드 3: 대량 누출
 - 고장모드 4: 파열

304. 고장 확률(POF) 평가

1. RBI 프로그램에서의 확률(probability) 분석은 손상 메커니즘으로 인해 발생하는 붕괴 손실에 의한 특정 부정적 결과의 발생 확률을 추정하기 위하여 수행된다. 특정 결과의 발생 확률은 고장이 발생했다고 가정하고 고장 확률과 고려 중인 시나리오의 발행 확률의 곱이다. 특정 결과에 대한 발생 확률의 추정은 306.을 참고한다.
2. 고장 확률 분석은 검토 중인 장비가 영향을 받거나 받을 수 있는 모든 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘을 다루어야 한다. 또한 장비가 여러 가지 손상 메커니즘(예 : 감속 및 크리프)의 영향을 받기 쉬운 상황을 처리해야 한다. 분석은 신뢰할 수 있고 반복 가능하며 문서화되어야 한다.
3. 손상 메커니즘 외에 붕괴 손실을 초래하는 원인(예 : 지진활동, 악천후 등)이 있을 수 있다. 이러한 원인은 고장 확률에 영향을 미칠 수 있으며, RBI의 고장 확률 분석에 포함될 수도 있다.
4. 고장 확률은 일반적으로 빈도로 표현된다. 빈도는 특정 기간 동안 발생하는 이벤트의 수로 표현된다. 고장 확률은 정성적 또는 정량적으로 분석될 수 있으며, 결과는 표 1과 같은 범주로 각 장치, 시스템, 그룹 또는 장비 품목을 할당할 수 있다.
 - (1) 정성적 고장 확률 분석에는 장치, 시스템 또는 장비의 식별, 구성 물질 및 공정의 부식성 구성요소가 포함된다. 운전 내역, 향후 검사 및 유지 관리 계획, 및 가능한 재료 열화에 대한 지식을 기반으로 고장 확률은 각 장치, 시스템, 장비 그룹 또는 개별 장비 품목에 대해 개별적으로 평가할 수 있다. 엔지니어링 판단이 이 평가의 핵심이다. 정성적 고장 확률 분석의 예와 관련하여 API 581 2008년판을 참조할 수 있다.
 - (2) 정량적 고장 확률 분석에는 다음과 같이 몇 가지 접근법이 있다. 정량적 고장 확률 분석의 세부 절차와 관련하여 API 581 최신판을 참조할 수 있다.
 - (가) 확률론적 접근법은 고장 확률을 계산하기 위한 특정 고장 데이터 또는 전문가 권유를 사용할 때 적용할 수 있다. 이 고장 데이터는 문제가 되는 특정 장비 품목 또는 유사한 장비 품목에서 얻을 수 있다. 이 고장 확률은 결정적 단일값이 아니라 분산으로 표현될 수 있다.
 - (나) 또 다른 접근법은 특정 관심 품목에 부정확하거나 불충분한 고장 데이터가 존재할 때 사용된다. 이 경우 일반 산업, 회사 또는 제조업체의 고장 데이터를 사용한다. 이러한 일반 데이터의 적용 가능성을 평가하기 위한 방법론을 적용해야 한다. 이 고장 데이터는 장비 특정 정보를 기반으로 예측된 고장 빈도를 적절하게 키우거나 줄임으로써 분석 대상인 장비 특유의 데이터로 조정되어야 한다. 이러한 방법으로 일반적인 고장 데이터를 사용하여 특정한 적용을 위한 장비에 적용되는 조정된 고장 빈도를 생성한다. 일반적인 값에 대한 이러한 수정은 특정한 서비스에서 발생할 수 있는 잠재적 열화 및 수행된 검사 및/또는 감시의 유형 및 효과를 설명하기 위해 각 장비 품목에 대해 이루어질 수 있다. 자격을 갖춘 사람이 사안별로 이러한 수정을 해야 한다.

표 1 고장 확률 등급(POF ranking)에 대한 분류(예)

등급	연간 고장 확률		설명
	정량적	정성적	
1	$< 10^{-5}$	Improbable	대상 시스템 관련 산업 유사 시스템에서 발생 가능성 없음 (예: 관련 산업계 유사 사례 없음)
2	10^{-5} to 10^{-4}	Rare	대상 시스템에서 발생 가능성 없으나, 관련 산업 유사 시스템에서 발생 가능 (예 : 관련 산업계 유사 사례 존재)
3	10^{-4} to 10^{-3}	Occasional	대상 시스템의 운영 수명동안 발생 가능 (예 : 수십 년 동안 1회 이상 발생 가능)
4	10^{-3} to 10^{-2}	Probable	대상 시스템의 장기간 운영 중 발생 가능 (예 : 매년 1회 이상 발생 가능)
5	$> 10^{-2}$	Frequent	대상 시스템의 단기간 운영 중 발생 가능, (예 : 매달 1회 이상 발생 가능)

5. 분석 방법에 관계없이, 고장 확률은 다음과 같은 두 가지 주요 고려 사항에 의해 결정된다.

- (1) 운전 환경(내부 및 외부)으로 인한 장비 구성 재료의 손상 메커니즘 및 비율
- (2) 고장 이전에 장비를 수리하거나 교체할 수 있도록 손상 메커니즘을 식별하고 감시하는 검사 프로그램의 유효성

6. 고장 확률과 관련하여 운전 중 열화 및 검사 유효성을 분석하는 것은 다음 절차를 포함한다.
- (1) 고려하고 있는 기간 동안 발생할 것으로 예상되는 능동적이고 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘을 식별한다.(정상 및 동요 상태를 고려함)
 - (2) 열화 비율 및 민감도를 결정한다. 예를 들어, 피로 균열은 주기적 응력에 의해 결정된다. 부식 손상은 온도, 부식성, 부식 전류의 집중 등으로 인해 발생한다. 이 과정을 수학적으로 모델링하기 위해 손상 축적 규칙이 도움이 될 수 있다. 손상 메커니즘의 추진력 크기의 주어진 값보다는 이러한 추진력의 통계 분포가 유용할 수 있다. (API 579-1/ASME FFS-1 참조)
 - (3) 일관된 접근법을 사용하여 과거의 검사, 유지 보수 및 공정 감시 프로그램의 유효성과 미래의 검사, 유지 보수 및 공정 감시 프로그램의 유효성을 평가한다. 일반적으로 검사 및 유지를 보수 하지 않는 전략을 포함한 몇 가지 미래 검사 및 유지 보수 대안을 고려하여 고장 확률을 평가하는 것이 필요하다.
 - (4) 현재 조건에서 예측/예상 비율로 계속되는 열화가 장비의 손상 허용치를 초과하고 고장이 발생할 확률을 결정한다. 소량 누출, 대량 누출 및 파열과 같은 고장 모드는 손상 메커니즘을 기반으로 결정되어야 한다. 경우에 따라 둘 이상의 고장 모드가 발생할 확률을 결정하고 위험도를 결합하는 것이 바람직하다.
7. 예상되는 손상 메커니즘, 열화 비율 또는 민감성, 공정 감시, 검사 데이터 및 검사의 효율성을 결합하여 각 열화 유형 및 고장 모드에 대한 고장 확률을 결정한다. 고장 확률은 미래의 기간 또는 조건뿐만 아니라 현재의 운영 조건에 대해 결정될 수 있다. 고장 확률을 계산하는 데 사용된 방법은 사용자의 요구에 실제로 철저하고 적절하다는 것을 사용자가 검증하여야 한다.

305. 고장 결과(COF) 평가

1. RBI 프로그램에서의 고장 결과 분석은 잠재적 고장의 중요성에 근거하여 장비 품목의 차이를 제공하기 위해 수행된다. 고장 결과 분석은 평가되는 장비 품목에 고장이 발생할 경우 초래할 것으로 예상되는 결과에 대한 반복 가능하고 단순하며 신뢰할 수 있는 추정이어야 한다. 고장 결과 분석은 일반적으로 식별된 손상 메커니즘에 기인한 고장 모드로 인해 발생 가능성이 있는 결과를 추정하기 위해 수행되어야 한다. 결과는 일반적으로 다음과 같이 분류해야 한다.
 - (1) 안전적 영향
 - (2) 환경적 영향
 - (3) 경제적 영향
2. 고장 결과 결정을 위해서 다양한 접근법이 있다. 대표적인 접근법으로는 다음과 같은 정성적 또는 정량적 방법이 있으며, 분석에 제공되는 자료에 따라 이 방법들을 조합하여 수행할 수 있다. 고장 결과 분석의 결과는 표 2와 같은 범주로 표현될 수 있다.
 - (1) 정성적 고장 결과 분석은 장치, 시스템 또는 장비의 식별 및 운전 조건 및 공정 유체의 결과로 나타나는 위해요소를 포함한다. 전문 지식과 경험을 토대로 각 장치, 시스템, 장비 그룹 또는 개별 장비 항목별로 고장 결과(안전, 환경 및 경제적 영향)를 개별적으로 예측할 수 있다. 정성적 방법의 경우 결과 범주는 일반적으로 각 장치, 시스템, 그룹 또는 장비 항목에 할당된다. 비용과 같은 수치를 각 결과 범주와 연관시키는 것이 적절할 수 있다.
 - (2) 정량적 고장 결과 분석은 사건의 조합을 묘사하는 논리 모델을 사용하여 고장의 안전, 환경 및/또는 경제적 영향을 나타낸다. 정량적 모델은 일반적으로 하나 이상의 표준 고장 시나리오 또는 결과를 포함하고, 다음을 기반으로 고장 결과를 계산한다.
 - (가) 장비 내부의 공정 유체 종류
 - (나) 장비 내부의 공정 유체 상태(고체, 액체 또는 기체)
 - (다) 공정 유체의 주요 특성(분자량, 비등점, 자동 점화 온도, 점화 에너지, 밀도, 인화성, 독성 등)
 - (라) 온도 및 압력과 같은 공정 운영 변수
 - (마) 누출 사고시 누출 가능 재고량
 - (바) 고장 모드 및 결과 누출 크기
 - (사) 주변 조건(고체, 기체 또는 액체)에서 누출 후 유체의 상태

표 2 고장 결과 등급(COF ranking)에 대한 분류(예)

등급	고장 결과	설명		
		안전	환경	경제
A	Slight	가벼운 부상 발생 (응급 처치 필요)	가벼운 환경 훼손 (즉각적 환경 복구 가능)	가벼운 손상/고장 (즉각적 수리 가능)
B	Minor	경상자 발생 부재(2일)	경미한 국부적 환경 훼손/오염 (단기적 환경 복구 활동 필요)	1천만 원 미만 피해 또는 1교대 미만 운전정지
C	Major	중상자 발생 부재(2일)	심각한 국부적 환경 훼손/오염 (1인이 1주 이상 복구 활동 필요)	1억 원 미만 피해 또는 4교대 미만 운전정지
D	Critical	단일 사망 또는 다수 중상자 발생	폭넓은 환경 훼손/오염 (장기적 환경 복구 활동 필요)	10억 원 미만 피해 또는 1개월 미만 운전정지
E	Catastrophic	다수 사망자 발생	대규모의 환경 훼손/오염 (환경 복구 거의 불가능)	100억 원 미만 피해 또는 1년 미만 운전정지

3. 압력 경계의 고장과 유체의 누출은 안전, 보건, 환경, 시설 및 사업상 피해를 야기할 수 있다. RBI 분석가는 위험의 본질을 고려하고 평가되는 장비, 시스템, 장치 또는 설비에 대해 적절한 요소가 고려되도록 해야 한다.
4. 분석 방법에 관계없이, 고장 결과를 평가할 때 고려해야 할 주요 요소는 다음을 포함해야 한다.
 - (1) 가연성 사건 (화재 및 폭발)
 - (2) 독성 물질
 - (3) 다른 위험한 유체의 누출
5. 또한, 고려할 수 있는 다른 영향은 다음과 같다.
 - (1) 환경적 결과
 - (2) 생산 결과(영업 중단)
 - (3) 유지 보수 및 재건축 영향
6. 위험 물질 누출의 결과는 여섯 단계로 추정할 수 있으며, 각 단계는 특정 시나리오의 가정을 사용하여 수행된다. 그리고 단계들은 신뢰할 수 있는 시나리오마다 반복해야 한다. 단계들은 다음과 같다.
 - (1) 누출 속도를 추정한다.
 - (2) 누출될 수 있는 유체의 총량을 추정한다.
 - (3) 유체가 빠르게(즉시) 또는 느리게(연속적으로) 분산되는지 결정한다.
 - (4) 유체가 액체 또는 가스로 대기 중에 분산되는지 결정한다.
 - (5) 기존 완화 시스템의 영향을 평가한다.
 - (6) 결과를 추정한다.
7. 함유 물질의 물리적 특성, 독성 및 인화성, 누출 유형 및 누출 기간, 기상 조건 및 누출된 내용물의 분산, 상승 효과 및 완화 활동과 같은 요소를 고려하여 장비 품목의 고장 결과를 추정해야 한다. 공장 직원 및 장비, 인근 지역의 인구 및 환경에 미치는 영향을 고려해야 한다. 생산 손실, 원자재 손실 및 기타 손실도 고려해야 한다. 몇 가지 신뢰할 수 있는 결과 시나리오는 단일 고장 모드에서 발생할 수 있으며 결과는 초기 고장 이후 일련의 신뢰할 수 있는 사건을 설명하기 위해 하나 이상의 시나리오를 구성하여 결정해야 한다. 예를 들어, 고장은 전면적인 부식으로 인한 작은 구멍일 수 있다. 포함된 유체가 가연성인 경우 결과 시나리오에는 점화가 없는 소량 누출, 점화가 있는 소량 누출, 점화 및 장비 품목의 후속 고장(파열)이 있는 소량 누출이 포함될 수 있다. 결과 시나리오를 구성하는 방법은 다음을 따른다.
 - (1) 1 단계 - 누출 : 누출 유형과 그 지속 기간을 고려해야 한다.
 - (2) 2 단계 - 분산 : 기상 조건으로 인해 누출된 내용물의 분산을 고려해야 한다.
 - (3) 3 단계 - 가연성 사건 : 결과는 누출된 내용물의 인화성을 기반으로 시나리오에 대해 추정해야 한다.
 - (4) 4 단계 - 유독성 누출 : 누출된 내용물의 독성에 근거한 시나리오에 대한 결과를 산정해야 한다.
 - (5) 5 단계 - 기타 유해 유체의 누출 : 누출된 내용물의 특성에 근거한 시나리오에 대한 결과를 산정해야 한다.
 - (6) 6 단계 - 각 시나리오로 인한 잠재적인 사망자 수(안전, 환경 및/또는 경제적 영향)를 추정해야 한다. 서로 다른 확률로 다른 시나리오가 적절하게 개발되어야 한다.

306. 위험도 결정

1. 위험도 결정은 고장 확률과 고장 결과의 평가 결과를 결합하여 위험도를 산정하는 과정이다. 또한 위험도 허용기준의 관점에서 위험도의 허용 가능성을 평가하고 우선순위를 정한다.
2. RBI 프로그램에서 위험도는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{특정 결과의 위험도} = \text{특정결과의 발생확률} \times \text{특정결과}$$

3. 손상 메커니즘에 대해 고장 모드와 고장 확률이 결정되면, 각각의 신뢰할 수 있는 결과 시나리오의 확률을 결정해야 한다. 다시 말해, 붕괴 상실의 고장 모드는 특정 결과를 초래하는 일련의 사건 중 처음 사건일 뿐이다. 특정 결과에 이르는 신뢰할 수 있는 확률은 발생한 특정 결과의 확률에 포함되어야 한다. 예를 들어, 붕괴 상실 후 일련의 사건은 다음과 같을 수 있다.
 - (1) 첫째, 격리, 경보 등 안전 조치의 시작 또는 실패
 - (2) 둘째, 유체의 분산, 희석 또는 축적
 - (3) 셋째, 근처 점화원의 차단, 유체의 중화 등 예방 조치의 시작 또는 실패
 - (4) 넷째, 화재, 유독성 누출, 상해, 환경 누출 등 특정 결과 사건이 발생할 때까지 추가 사건
4. 고장 확률과 사건의 발생 확률(또는 특정 결과의 확률) 사이의 연관 관계를 이해하는 것은 중요하다. 특정 결과의 확률은 결과의 심각도와 관련이 있으며 장비의 고장 확률과 상당히 다를 수 있다. 특정 결과의 확률은 일반적으로 사건의 심각성에 따라 감소한다. 예를 들어, 치명적인 결과를 초래하는 사건의 확률은 응급 처치 또는 의학적 상해를 초래하는 사건의 확률보다 일반적으로 낮다.
5. 손상 메커니즘의 각 유형에는 고유한 고장 모드가 있다. 특정 손상 메커니즘에 대해 예상되는 고장 모드를 장비 고장의 여파로 인한 특정 결과의 확률을 결정할 때 고려해야 한다.
6. 일반적으로 평가해야 할 다른 결과가 있을 수 있다. 하지만, 위험도 분석에서 모든 신뢰할 수 있는 시나리오를 포함할 필요가 없도록 지배적인 확률과 결과의 쌍을 결정하는 것이 가능하다. 사소한 결과를 없애기 위해서는 엔지니어링 판단과 경험을 사용해야 한다.
7. 특정 결과의 확률 및 위험도 계산 예
 - (1) 가연성 유체를 담고 있는 장비 품목을 평가한 것이다. 특정 결과의 확률은 특정 결과를 초래할 수 있는 개별 사건 확률의 곱이어야 한다. 다음 예는 화재에 대해 평가한 구체적인 결과이다. Event Tree 예는 그림 3과 같이 붕괴 손실로 시작된다.

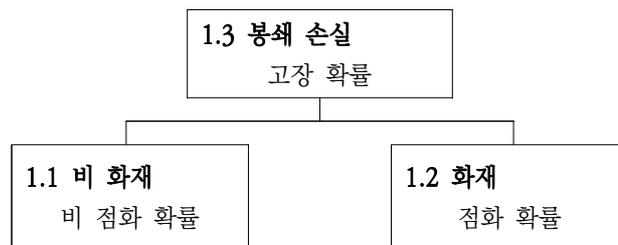


그림 5 특정 결과의 확률 계산 예

- (가) 화재 발생 확률(probability)은 다음과 같다.
 - 화재 발생 확률 = 고장 확률 × 점화 확률
 - 화재 발생 확률 = (0.001 /년) × 0.01
 - 화재 발생 확률 = 0.00001/년
- (나) 화재가 발생하지 않을 확률은 두 가지 시나리오(비 점화 붕괴 손실과 붕괴 비 손실)를 포함한다. 화재가 발생하지 않을 확률은 다음과 같다.
 - 화재가 발생하지 않을 확률 = (고장 확률 × 비 점화 확률) + 비 고장 확률
 - 화재가 발생하지 않을 확률 = (0.001 /년 × 0.99) + 0.999 /년
 - 화재가 발생하지 않을 확률 = 0.99999 /년
- (다) 모든 결과 시나리오의 발생 확률의 합은 1.0 이어야 한다. 이 예에서 화재 발생 확률(0.00001 /년)와 화재가 발생하지 않을 확률(0.99999 /년)의 확률은 1.0 이다.

(라) 화재의 결과(consequence)가 10,000,000,000 원으로 평가되었다면, 위험도는 다음과 같다.

$$\text{화재 위험도(risk)} = 0.00001 / \text{년} \times 10,000,000,000 \text{ 원} = 100,000 \text{ 원/년}$$

- (2) 확률과 결과가 수치로 표현되지 않으면 위험도는 대개 위험도 매트릭스(그림 4 참조)에 대한 확률과 결과를 도시하여 결정된다. 다양한 시나리오에 대한 확률 및 결과의 쌍을 도시하여 각 시나리오의 위험을 판별할 수 있다. 위험도 매트릭스가 사용될 때, 사용되는 확률(probability)은 고장 확률이 아닌 특정 결과의 확률(0.00001/년)이다.

8. 민감도 분석

- (1) 각 변수의 가치와 그것이 위험도 계산에 어떻게 영향을 미치는지를 이해하는 것은 어떤 입력 변수가 더 정밀한 감시를 받아야 하는지를 결정하는 데 중요하다. 보다 상세하고 정량적인 위험도 분석을 수행할 때 더욱 중요하다.
- (2) 민감도 분석은 일반적으로 위험도 계산에 대한 일부 또는 모든 입력 변수를 검토하여 결과 위험도 값에 대한 전반적인 영향을 결정한다. 이 분석이 수행되면 사용자는 어떤 입력 변수가 위험도 값에 큰 영향을 미치는지 확인할 수 있다. 이 핵심 입력 변수들에는 최대한 주의를 기울여야 한다.
- (3) 이러한 변수에 대한 추가 정보를 수집하는 것은 종종 가치가 있다. 일반적으로 확률 및 결과의 예비 추정치는 너무 보수적이거나 너무 비관적일 수 있다. 그러므로 민감도 분석 후에 수행된 정보 수집은 핵심 입력 변수에 대한 보다 확실성을 밝히는 것에 초점을 맞추어야 한다. 이 과정은 궁극적으로 핵심 입력 변수의 재평가를 이끌어야 한다. 따라서 위험도 분석의 품질과 정확성이 향상되어야 한다. 이것은 위험도 평가의 데이터 검증 단계에서 중요한 부분이다.

9. 가정

- (1) 입력 값의 가정이나 추정치는 결과 및/또는 고장 확률 데이터를 사용할 수 없을 때 자주 사용된다. 데이터가 존재한다고 알려졌을 경우에도 보수적 추정치는 차후 과정 또는 민감도 분석과 같은 엔지니어링 모델링 정보의 입력이 있을 때까지 초기 분석에 사용될 수 있다. 지나치게 과장된 결과 및/또는 고장 확률 값은 계산된 위험도 값을 불필요하게 부풀릴 수 있으므로 너무 보수적인 것에 대해 주의해야 한다. 과도하게 부풀려진 위험도 값을 제시하면 검사 계획자, 경영진 및 보험 회사를 오도할 수 있으며, 사용자와 RBI 절차에 대한 신뢰성 부재를 초래할 수 있다. RBI 팀의 구성원은 RBI 분석에 대한 가정과 위험도 결과에 대한 잠재적 영향에 동의해야 한다.

307. 위험도 평가

1. 위험도 허용기준

- (1) RBI는 장비의 붕괴 손실에 대한 위험도 분석을 제공하는 도구이다. 많은 회사는 안전, 환경 및 경제적 위험도를 허용 가능하고 분별 있는 수준으로 규정한 고유의 위험도 허용기준을 가지고 있다. RBI 결정을 내릴 때 이러한 위험도 기준을 사용해야 한다. 각 회사는 허용 가능한 위험도 수준의 측면에서 회사마다 다를 수 있으며 위험도 관리 결정 또한 회사마다 다를 수 있다.
- (2) 비용-편익 분석은 많은 기업, 정부 및 규제 기관에서 위험도 허용 여부를 결정하는 한 가지 방법으로 사용하는 강력한 도구이다. 위험도 허용기준은 위험도의 종류에 따라 다를 수 있다. 예를 들어 환경적 위험도에 대한 허용기준은 안전적 위험도 허용기준 보다 높을 수 있다.
- (3) 검사 및 유지 관리 계획에 위험도 평가를 사용하는 것은 엔지니어링, 유지 관리 또는 검사를 기반으로 하는 고장 확률 정보와 전통적으로 운영 기반인 고장 결과 정보가 결합되어 계획 과정을 지원한다는 점에서 독특하다. 이 계획 과정의 일부는 검사 대상, 검사 방법, 검사 위치, 검사 범위 및 검사 시기에 대한 결정이다. 공정 장치 또는 개별 공정 장비 품목에 대한 위험도를 결정하는 것은 위험도 값을 기준으로 우선순위가 결정되므로 계획 과정을 용이하게 한다. 이 과정의 두 번째 부분은 장비를 검사할 시점을 결정하는 것이다. 위험도가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 이해하는 것은 계획 과정을 용이하게 한다.

2. 위험도 프레젠테이션

위험도 값이 산출되면, 분석 결과를 의사 결정자 및 검사 계획자에게 전달하기 위해 다양한 방법으로 위험도 값을 제시할 수 있다. 위험도 분석의 한 가지 목표는 다양한 사람들이 이해할 수 있는 공통 형식으로 결과를 전달하는 것이다. 위험 매트릭스 또는 도표를 사용하면 이 목표를 달성하는 데 도움이 된다.

(1) 위험도 매트릭스(risk matrix)

- (가) 확률 및 결과 범주를 사용하는 위험도 순위 결정 방법의 경우 위험도 매트릭스에 결과를 표시하는 것은 수치 값 없이 공장 또는 프로세스 단위에서 위험도 분포를 전달하는 매우 효과적인 방법이다. 위험도 매트릭스의 예는 그림 4에 나와 있다. 이 그림에서 확률 및 결과 범주는 가장 높은 위험도 순위가 오른쪽 위가 되도록 정렬된다. 일반적으로 평가를 수행하는 인력에게 지침을 제공하기 위해 범주와 숫자 값을 연결시키는 것이 바람직하다(예, 확률 범주 C는 0.001에서 0.01의 범위이다). 일반적으로 이용되는 5×5 매트릭스를 이용할 수 있

며, 확률 및 결과 범주는 평가된 항목간에 충분한 차이를 제공해야 한다.

- (나) 위험도 항목은 위험도 매트릭스의 상자에 지정될 수 있다. 위험도 매트릭스의 위험도 범주(높음, 약간 높음, 중간 및 하위)의 예를 그림 4에 표시하였다. 위험도 범주는 대칭 또는 비대칭일 수 있다. 예를 들어 결과 범주에 확률 범주보다 더 높은 가중치를 부여할 수 있는 비대칭 위험도 범주일 수 있다. 위험 매트릭스는 특정 시점의 결과를 나타낸다.

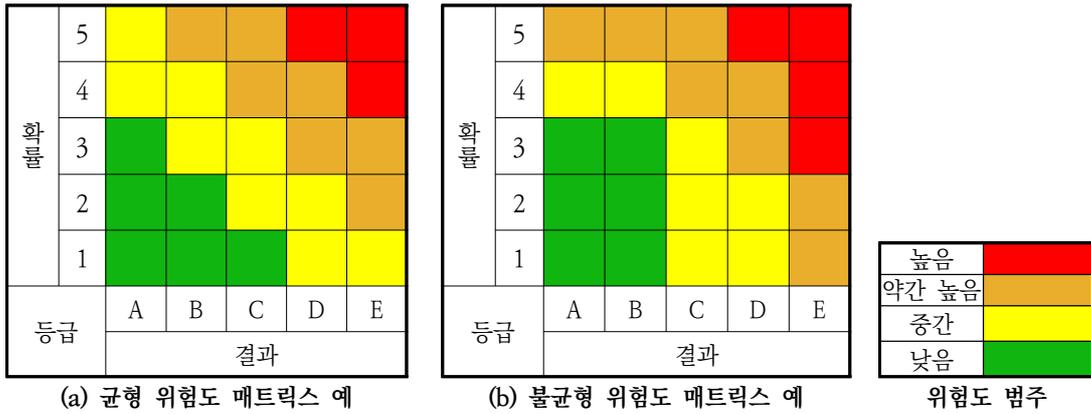


그림 6 위험도 매트릭스 예

(2) 위험도 도표(risk plot)

보다 정량적인 결과 및 확률 데이터가 사용되고 있으며 위험도 수치값이 이해관계자에게 더 의미가 있는 경우 위험도 도표가 사용될 수 있다. (그림 5 참조). 이 도표는 가장 높은 위험도가 오른쪽 위 모서리가 되는 점에서 위험도 매트릭스와 유사하게 구성된다. 종종 평가된 항목의 상대적 위험도를 더 잘 이해하기 위해 로그-로그 스케일을 사용하여 도표를 그려야 한다. 그림 5의 도표에는 등위험도 선(ISO-risk line)과 10개 장비의 위험도가 나타나 있다. 이 예에서 등위험도 선이 위험도 허용기준이라면 장비 품목 1, 2 및 3은 위험도 수준이 이 선 아래가 되도록 완화되어야 한다.

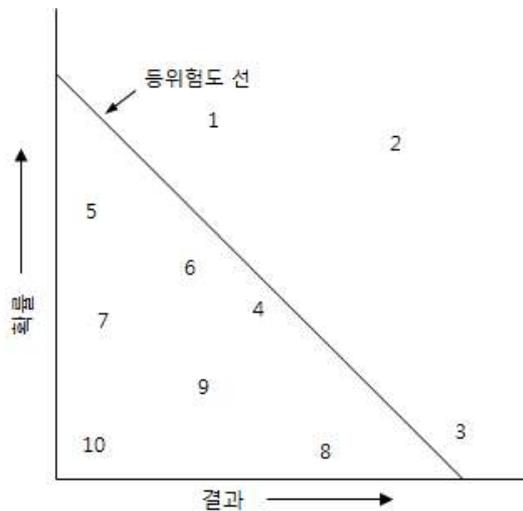


그림 7 정량적 위험도 평가시 위험도 도표 예

(3) 위험도 도표 또는 매트릭스 사용

- (가) 도표 또는 매트릭스의 오른쪽 위 모서리에 있는 장비 품목은 위험도가 가장 높으므로 검사 계획에서 우선순위가 높다. 마찬가지로 왼쪽 하단 모서리에 있는 품목은 위험도가 가장 낮으므로 우선순위가 낮아지는 경향이 있다. 일단 그래프가 완성되면 우선순위 결정 과정에서 위험도 도표(또는 매트릭스)를 선별 도구로 사용할 수 있다.

(나) 정성적 분석이 수행되고 결과가 위험도 매트릭스에 그려져 있다면, 위험도는 304.의 4항에 설명된 바와 같이 달러 또는 기타 수치로 표현될 수 있다. 위험도 매트릭스에서 각 확률 및 결과 범주와 관련된 수치를 사용하여 위험도를 계산할 수 있다. 비용 관련 위험도에 대해 순 현재 가치 절감 대 검사 시간의 도표를 사용하여 검사 활동을 시간 조정할 수 있다.

3. 허용 가능한 위험도 기준치 설정

- (1) 위험도 수준에 따라 장비 항목을 선별하고, 초기에 식별하기 위해 위험도 도표 및 매트릭스를 사용할 수 있다. 장비는 위험도 값에 따라 표 형식으로 순위를 매길 수도 있다. 위험도 도표, 매트릭스 또는 표를 허용 가능한 위험도 영역과 허용 불가능한 위험도 영역으로 나누는 경계값을 개발할 수 있다. 기업의 안전과 재무 정책 및 제약 또는 위험도 허용기준은 경계값의 배치에 영향을 미친다. 규정 및 법률은 허용 가능한 위험도 기준치를 확인하거나 규정 하도록 도울 수 있다.
- (2) 낮은 수준으로의 일부 위험도 감소는 기술 및 비용 제약으로 인해 실용적이지 않을 수 있다. 이러한 항목에는 위험도 관리 또는 기타 위험도 관리 접근에 대한 실용합리적 접근법(ALARP)이 필요할 수 있다.

제 4 절 위험도 관리

401. 일반 사항

1. 검사 자체가 손상 메커니즘을 억제 또는 완화시키거나 위험도를 줄이는 것은 아니지만, 효과적인 검사를 통해 취득한 정보는 실제 위험도를 더 정확하게 정량화할 수 있다. 검사가 고장 확률을 변경하기 위한 위험도 완화 활동을 수반하지 않는 한, 압력 장비의 임박한 고장은 검사 활동에 의해 피할 수 없다. 검사는 손상 메커니즘을 식별, 감시 및 측정하는 역할을 한다. 손상이 임계점에 도달할 시기를 예측할 때 필수적인 정보이다. 검사를 올바르게 적용하면 사용자가 손상 메커니즘과 열화 속도를 예측할 수 있는 능력이 향상된다. 예측 가능성이 좋을수록 고장이 발생할 시기에 대한 불확실성이 줄어든다. 예측된 고장 날짜 이전에 위험도 완화(수리, 교체, 변경 등)를 계획하고 실행할 수 있다. 검사를 통한 불확실성의 감소와 예측 가능성의 증가는 직접적으로 고장 확률을 더 잘 예측하고 계산된 위험도를 감소시킨다.
2. 1항이 RBI 계획과 활동이 항상 압력 장비와 관련된 위험도 감소 및 열화 감시에 대한 대답임을 의미하지는 않는다. 일부 손상 메커니즘은 검사 활동(예: 취성 균열, 다양한 형태의 응력 부식 균열 및 피로를 초래할 수 있는 야금학적 열화)으로 감시하기가 매우 어렵거나 불가능하다. 단기적, 사건 중심의 운영 변경에 의해 갑자기 촉진되는 다른 손상 메커니즘은 위험도 기반, 상태 기반 또는 시간 기반의 통상적 검사 계획으로 감시하기에 너무 빨리 발생할 수 있으므로, 편차가 발생할 경우 검사요원에게 적절한 소통을 비롯하여 최적 운전 범위(IOW)에 대한 포괄적인 프로그램 및 설정된 매개 변수의 변경에 대한 엄격한 변경 관리(MOC) 프로그램을 수립하고 구현할 필요가 있다.
3. 검사를 통해 달성된 위험도 완화(불확실성 감소에 따른)는 조직이 적시에 검사 결과에 따라 행동하는 것을 전제로 한다. 수집된 검사 데이터가 적절하게 분석되지 않고 필요한 곳에 조치를 취하지 않으면 위험도 완화가 이루어지지 않는다. 검사 데이터 및, 분석 또는 해석의 품질은 위험도 완화 수준에 큰 영향을 미친다. 따라서 적절한 검사 방법과 데이터 분석 도구가 중요하다.
4. 허용 가능한 것으로 판단되는 위험도에 대해서는 완화 조치가 요구되지 않을 수 있으며 더 이상의 조치가 필요하지 않을 수 있다. 허용 불가능한 것으로 간주되어 위험도 완화가 요구되는 위험도에 대해서는 고려해야 할 다양한 완화 범주가 있다.
 - (1) 퇴역(Decommission) - 설비 운영을 지원하기 위해 장비가 실제로 필요한가?
 - (2) 검사 및 수리(Inspection and Repairs) - 위험도를 허용 수준까지 줄이는 비용 효과적인 검사 프로그램을 검사 결과에 표시된 수리와 함께 구현할 수 있는가?
 - (3) 결과 완화(Consequence Mitigation) - 고장 결과를 줄일 수 있는 설계 변경(예: 격리, 탐지시스템) 또는 운영적 변경과 같은 장비 고장과 관련된 고장 결과를 줄이기 위한 조치를 취할 수 있는가?
 - (4) 확률 완화(Probability Mitigation) - 건설 변경, 운영 변경 또는 장비 재설계와 같은 고장 확률을 줄이기 위한 조치를 취할 수 있는가?

402. RBI 결과에서의 위험도 관리

1. 전형적으로 위험도 우선 순위 목록이 RBI 결과로서 개발된다. RBI에서 고장 확률 또는 결과, 또는 둘 모두가 위험도를 움직이는지 여부를 확인한다. 위험도가 고장 확률에 의해 움직이는 상황에서는 일반적으로 검사를 통해 위험도 관리의 가능성이 있다.

2. 일단 RBI 평가가 완료되면, 사용자에게 허용 불가한 위험도를 가진 품목은 검사 계획이나 기타 위험도 관리 전략을 통해 잠재적 위험도 관리에 대해 평가되어야 한다. 더 높은 위험도 항목도 잠재적 위험도 관리 활동에 대해 평가되어야 한다. 검사가 효과적인지 아닌지는 다음에 따라 달라진다.
 - (1) 장비 유형
 - (2) 능동적이고 신뢰성 있는 손상 메커니즘
 - (3) 열화 비율 또는 민감도
 - (4) 검사 방법, 적용 범위 및 빈도
 - (5) 예상 피해 지역으로의 접근성
 - (6) 정지 요건
 - (7) 달성 가능한 고장 확률 감소량(즉, 낮은 검사 확률 항목의 검사 확률 감소는 일반적으로 검사를 통해 달성하기 어렵다)
3. 장비의 잔존 수명 및 손상 메커니즘의 유형과 같은 요소에 따라 검사를 통한 위험도 관리는 거의 또는 전혀 영향을 미치지 않을 수 있다. 이러한 경우의 예는 다음과 같으며, 이 경우에는 다른 완화 대안이 필요할 수 있다.
 - (1) 장비 수명이 다할 것으로 예상되는 부식 속도
 - (2) 취성 균열과 같은 작동 조건과 관련된 즉각적인 고장
 - (3) 열화를 적절히 탐지하거나 계량하기에 충분하지 않은 검사 기술
 - (4) 열화 시작에서 최종 고장까지 시간이 너무 짧아 주기적 검사가 효과적이기 않은 고장(예: 고주파 피로 균열)
 - (5) 사건 중심 고장(예측할 수 없는 상황)
4. 3항의 대안 조치가 취해졌을 때 가장 실용적이고 비용 효율적인 위험도 완화 전략을 각 품목별로 개발할 수 있다. 일반적으로 검사는 전반적인 위험도 관리 전략의 주요 부분을 제공하지만 항상 그런 것은 아니다.

403. 검사 계획 수립

1. RBI 평가 결과는 일반적으로 포함된 항목 그룹에 대한 전체 검사 계획의 개발 근거로 사용된다. 검사 계획은 다른 완화 계획과 함께 설계되어야 모든 장비 항목에 합당한 결과 위험도를 얻을 수 있다. 검사 계획 수립을 위해 사용자는 다음 사항을 고려해야 한다.
 - (1) 위험도 허용기준 및 순위
 - (2) 위험도 원인들
 - (3) 장비 이력
 - (4) 검사 횟수 및 결과
 - (5) 검사 유형 및 유효성
 - (6) 유사한 서비스 장비와 잔존 수명
2. 검사는 선택한 검사 기법이 손상 메커니즘과 그 심각성을 탐지하기에 충분할 경우에만 효과적이다. 예를 들어, 배관망의 스폿 두께 판독값은 손상 메커니즘이 예측할 수 없는 국부적인 부식(예 : 피팅, 암모니아 이중 황화물 부식, 국부적인 얇은 영역 등)이 있는 경우 거의 또는 전혀 도움이 되지 않는 것으로 간주된다. 이 경우, 초음파 스캐닝, 방사선 촬영 및/또는 다른 접근법보다 효과적이다. 검사를 통한 위험도 감소 수준은 다음에 따라 달라진다.
 - (1) 손상 메커니즘의 고장 모드
 - (2) 열화 시작 및 고장 사이의 시간 간격(즉, 열화 속도)
 - (3) 검사 기술의 탐지 능력
 - (4) 검사 위치와 범위
 - (5) 검사 빈도
3. 조직은 검사를 통해 달성된 위험도 관리 수준의 지정에 있어 신중하고 체계적이어야 하며, 검사를 통한 위험도 관리가 영원한 능력이 있는 것으로 간주하지 않도록 주의해야 한다.
4. 검사 계획은 문서화된 반복적인 과정으로 검사 활동이 더 높은 위험도 항목에 지속적으로 집중되도록 해야 한다.

404. 검사 활동으로 위험도 관리

1. 과거 검사의 효율성은 현재 위험도 결정의 한 요소이다. 미래 위험도는 미래의 검사 활동에 영향을 받을 수 있다. 미래 위험도 수준에 영향을 미칠 수 있는 주요 매개 변수와 예는 다음과 같다.
 - (1) 검사 빈도 - 검사 빈도를 늘리면 손상 메커니즘을 보다 잘 정의, 식별 또는 감지할 수 있으므로 위험도를 보다 정확하게 정량화할 수 있다. 일상적 및 턴어라운드 검사 빈도를 모두 최적화 할 수 있다.

- (2) 적용 범위 - 항목 또는 일련의 항목을 검사하는 다양한 영역 또는 범위를 모델링하고 평가하여 허용 가능한 위험도 수준을 산출하는 적용 범위를 결정한다.
- (가) 더 높은 위험도의 배관 시스템은 식별된 손상 메커니즘을 찾기 위해 한 가지 이상의 NDE 기술을 사용하는 보다 광범위한 검사의 대상이 될 수 있다.
- (나) 위험도 평가는 위험도가 가장 높은 용기 부분에 초점을 맞춰야 하고, 저 위험도의 열화 과정이 발생하는 나머지 용기들에 초점을 맞추기보다 이 위험도를 정량화하는 데 초점을 맞춰야 하는 필요성을 보여줄 수 있다.
- (3) 도구 및 기법 - 적절한 검사 도구 및 기법의 선택 및 사용은 고장 확률을 비용 효율적으로 안전하게 정량화하기 위해 최적화 될 수 있다. 검사 도구와 기법을 선택할 때 검사 인력은 하나 이상의 기법이 위험도 완화를 달성할 수 있다는 점을 고려해야 한다. 그러나 달성되는 완화 수준은 선택에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 국부적인 부식의 경우 측면 방사선 촬영(profile radiography)이 두께 계측을 위한 디지털 초음파보다 더 효과적이다.
- (4) 절차 및 관행 - 검사 절차 및 실제 검사 관행은 손상 메커니즘을 식별, 측정 및/또는 감시하는 검사 활동의 능력에 영향을 줄 수 있다. 검사 활동이 잘 훈련되고 자격을 갖춘 검사 인력에 의해 효과적으로 수행되는 경우 예상되는 위험도 관리 혜택이 얻어져야 한다. 사용자는 모든 검사 인력과 NDE 작업자가 충분한 자격이 있다고 가정하는 것보다 적절한 수준의 자격을 얻는 조치를 취하도록 주의하여야 한다.
- (5) 내부, 운전 중(on-stream) 또는 외부 검사 - 내부, 운전 중 및 외부 검사에 의한 위험도 정량화를 평가해야 한다. 효과적인 운전 중 검사 기법을 이용한 외부 검사는 종종 위험도 평가에 유용한 자료를 제공할 수 있다. 침입 검사가 경우에 따라 항목의 위험도 증가 및 열화를 야기할 수 있다는 점을 주목하여야 한다. 이러한 상황이 발생할 수 있는 예는 다음과 같다.
- (가) 장비에 응력 부식 균열 또는 PASCC(polythionic acid stress corrosion cracking)를 야기하는 수분 진입
- (나) 유리 피복 용기의 내부 검사
- (다) 피막 보호 필름의 제거
- (라) 시동시 인적 오류(재운전)
- (마) 장비를 끄고 시동하는 것과 관련된 위험도 증가
2. 사용자는 이러한 매개 변수를 조정하여 위험도를 관리하고 비용 효율적이며 실용적인 최적의 검사 계획을 얻을 수 있다.

405. 검사 결과 분석 및 시정 조치 결정

1. 잔존 수명 및 향후 검사 계획을 평가할 때 변수로는 열화 유형에 대한 손상 메커니즘, 열화 속도 및 장비 허용 오차의 식별과 같은 검사 결과를 변수로 사용하여야 한다. 검사 결과는 고장 결과 결정에 사용될 수 있는 모델의 비교 또는 검증에 사용될 수 있다.
2. 수리 또는 교체가 필요한 장비 품목에 대해 문서화된 완화 조치 계획을 수립해야 한다. 실천 계획은 수리(또는 교체)의 범위, 권장 사항, 제안된 수리 방법, 적절한 품질 보증/품질 관리 및 계획 완료 날짜를 기술해야 한다.

406. 기타 위험도 완화 활동

1. 검사는 종종 위험도 관리의 효과적인 방법이다. 그러나 검사가 항상 충분한 위험도 완화를 제공하지 못하거나 가장 비용-효율적인 방법이 아닐 수도 있다. 이러한 위험도 완화 활동은 다음 중 하나 이상에 해당한다.
 - (1) 결과의 크기를 줄인다.
 - (2) 고장 확률을 줄인다.
 - (3) 결과에 대한 시설 및 사람들의 생존가능성을 향상시킨다.
 - (4) 결과의 주원인을 완화시킨다.
2. 장비 열화가 고장의 위험도를 허용 가능한 수준으로 관리할 수 없는 시점에 이르면, 교체/수리가 위험도를 완화하는 유일한 방법이다.
3. 검사는 장비의 결함을 식별할 수 있다. 어떤 조건에서 어떤 기간 동안 장비가 계속 안전하게 작동할 수 있는지를 결정하기 위해 서비스 적합성(fitness-for-service) 평가(예: API 579-1/ASME FFS-1)가 수행될 수 있다. 향후 검사에서 발견될 경우 어떤 크기의 결함이 수리 또는 장비 교체가 필요한지 결정하기 위해 서비스 적합성 분석을 수행할 수도 있다.
4. 엄격한 변경 관리 절차를 사용한 장비의 개선 및 재설계는 고장 확률을 저감할 수 있다. 예를 들면 다음과 같다.
 - (1) 야금(metallurgy)의 변화
 - (2) 보호 라이닝 및 코팅의 추가

- (3) 데드 레그(dead legs)의 제거
- (4) 부식 여유 증가
- (5) 열화를 제어/최소화하는 데 도움이 되는 물리적 변화
- (6) 단열 개선
- (7) 주입점(injection point) 설계 변경
- (8) 압력 도출 장치의 크기 조정

제 5 절 RBI 평가 업데이트 및 재평가

501. 일반사항

1. RBI는 현재 및 추정 미래 위험도 평가를 제공할 수 있는 역동적인 도구이다. 그러나 이러한 평가는 평가 당시의 데이터 및 지식을 기반으로 한다. 시간이 지남에 따라 변화가 불가피하며 RBI 평가 결과가 업데이트되어야 한다.
2. 최근 검사, 프로세스 및 유지 관리 정보가 포함되도록 RBI 프로그램을 유지 관리하고 업데이트하는 것이 중요하다. 검사 결과, 공정 조건 변경 및 유지 보수 실행은 모두 위험도 및 검사 계획에 중대한 영향을 미칠 수 있으므로 재평가를 수행해야 한다.

502. RBI 재평가 이유

1. RBI 재평가를 수행하는 것이 위험도를 변화시키고 신중하게 하는 몇 가지 사건이 있다. 시설에 대한 재평가가 필요한 시기를 확인하는 효과적인 업무 절차를 갖는 것이 중요하다. RBI 재평가는 2항에서 5항까지는 핵심요소에 의해 유발될 수 있다.

2. 손상 메커니즘 및 검사 활동

- (1) 많은 손상 메커니즘은 시간에 따라 다르다. 전형적으로 RBI 평가는 열화를 일정 비율로 산출한다. 실제로 열화 비율은 시간이 지남에 따라 달라질 수 있다. 검사 활동을 통해 열화 비율(단기 및 장기 모두)을 보다 잘 정의할 수 있다.
- (2) 일부 손상 메커니즘은 시간과 무관하다(즉, 특정 조건이 있는 경우에만 발생한다). 이러한 간헐적인 조건이 발생하면 RBI 재평가가 적절할 수 있다. 재평가의 일환으로, 시간에 의존하지 않는 손상 메커니즘이 발생하였을 수도 있었는지를 더 잘 예측하기 위해, 최적 운전 범위(IOW) 이탈 및 추세를 포함한 과거 운전에 대한 운전 이력을 검토하는 것이 중요하다.
- (3) 검사 활동은 장비 상태에 대한 정보를 증가시킨다. 검사 활동이 수행된 경우, RBI 재평가가 필요한지 결정하기 위해 결과를 검토하여야 한다.

3. 공정 및 기계 설비 변경

장비 변경 또는 교체와 같은 공정 조건 및 기계설비의 변경은 종종 위험도를 크게 변경하고 재평가 필요성에 영향을 줄 수 있다. 특히 공정 변경은 신속하고 예기치 않은 부식이나 균열로 인한 장비 고장과 관련이 있다. 이것은 공정 조건에 크게 의존하는 손상 메커니즘에 특히 중요하다. 전형적인 예로는 스테인리스강의 염화물 응력 부식 균열, 탄소강의 습식 H₂S 균열 및 염분 침착 지점 또는 이슬점 및 산성 물 부식에서의 가속 부식이 포함된다. 각각의 경우에 공정 조건의 변경은 부식 속도 또는 균열 경향에 극적으로 영향을 줄 수 있다. 기계설비 변경 또한 위험도에 영향을 줄 수 있다.

(가) 고장 확률은 부식 효과 관련 속도를 가속화하는 배관 시스템의 크기 및 모양 또는 용기 내부 설계의 변경에 의해 영향을 받을 수 있다.

(나) 결과는 점화원 근처로의 용기 재배치에 의해 영향을 받을 수 있다.

(다) 공정 조건은 기계 설비 수정, 추가, 삭제 또는 우회에 의해 변경될 수 있다.

4. RBI 평가 전제 변경

RBI 평가를 위한 전제가 바뀔 수 있으며, 이는 위험도 결과에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 가능한 변경 사항은 다음과 같으며, 이에 한정하지는 않는다.

- (가) 공정 단위의 인구 밀도의 증가 또는 감소
- (나) 건축 자재 및 수리/교체 비용의 변경
- (다) 제품 가치의 변화
- (라) 안전 및 환경 법규의 개정

- (마) 위험도 허용기준의 변경
- (바) 원료 공급 양 또는 조성의 변화
- (사) 작동 조건의 변화
- (아) 유지 보수 턴어라운드 사이의 단위 운전 기간 변경
- (자) 검사 규격/표준의 변경

5. 완화 전략의 효과

안전시스템 설치, 수리 및 기타 접근법 활용과 같은 위험도 완화 전략을 감시하여 원하는 완화를 성공적으로 달성했는지 확인해야 한다. 일단 완화 전략이 실행되면 RBI 프로그램을 새로운 현재의 위험도로 업데이트하기 위해 위험도 재평가가 수행될 수 있다.

503. RBI 재평가 시기

1. 중대한 변화 후

502.에서 기술된 바와 같이, 다양한 이유로 위험도에 중요한 변화가 발생할 수 있다. 위험도 변화의 가능성을 결정하기 위해 자격을 갖춘 인력이 각각의 중대한 변화를 평가해야 한다. 공정 조건, 손상 메커니즘/비율/심각도 또는 RBI 전체가 크게 변경된 후에 RBI 재평가를 수행하는 것이 바람직할 수 있다.

2. 설정된 시간 후

중요한 변화가 발생하지 않더라도 시간이 지나면서 많은 작은 변화가 발생할 수 있으며 RBI 평가에서 누적되어 중요한 변화를 일으킬 수 있다. 사용자는 재평가를 위한 기본 최대 기간을 설정해야 한다. 만약 있다면, 적용 검사 규격 및 관할 구역 규정은 이와 관련해서 재검토되어야 한다.

3. 위험도 완화 전략 시행 후

완화 전략이 실행되면 위험도를 허용 수준까지 줄이는 데 있어 전략이 얼마나 효과적이었는지 판단하는 것이 중요하다. 이것은 위험도를 재평가하고 문서에 적절한 업데이트가 반영되어야 한다.

4. 유지 보수 턴어라운드의 전/후

- (1) 유지 보수 턴어라운드 계획의 일환으로 RBI 재평가를 수행하는 것이 일반적으로 유용하다. 이는 안전하고 경제적이며 환경적으로 건전한 운영 실행 시간을 달성하는 데 영향을 줄 수 있는 문제 및 고 위험도 장비 품목에 중점을 두기 위해 턴어라운드 계획을 세우는 첫 단계가 될 수 있다.
- (2) 일반적인 유지 보수 턴어라운드 동안 많은 수의 검사, 수리 및 수정 작업이 수행되므로 새로운 위험도 수준을 반영하기 위해 턴어라운드 완료 후 바로 평가를 업데이트하는 것이 유용할 수 있다.

제 6 절 RBI 문서 및 기록 보관

601. 일반사항

1. RBI 프로그램을 구현하고 유지하기 위한 문서화된 관리시스템이 개발되어야 하며, 일반적으로 다음 요소를 포함하여야 한다.
 - (1) 이행, 유지 보수 및 재평가를 다루는 절차
 - (2) 역할/책임, 경험/훈련 요구 사항
 - (3) 문서화된 가정
 - (4) RBI 분석 적용성에 대한 기간;
 - (5) 데이터 요구 사항
 - (6) 위험도 목표
 - (7) 프로그램 심사 요구 사항
 - (8) 범위 및 경계 한계
 - (9) 재평가를 위한 계기(예 : 공정 변경, 장비 손상, 고장, 최적 운전 범위 이탈 등)
 - (10) 재평가 기간
2. RBI 평가를 완전히 문서화하기에 충분한 정보를 수집하는 것이 중요하다. 일반적으로 이 문서에는 다음 데이터와 정보가 포함되어야 한다.
 - (1) 평가 유형, 목표 및 경계
 - (2) 선택된 RBI 방법론이 현장에서 어떻게 적용되는지에 대한 절차(예: 방법론에 의해 제공된 모든 옵션을 다루는 방법)

- (3) 평가를 수행하는 팀원들과 RBI 관련 팀원들의 기술
 - (4) 평가가 적용되는 기간
 - (5) 위험도 결정에 사용되는 입력 정보 및 출처
 - (6) 평가 중에 만들어진 가정
 - (7) 위험도 평가 결과(확률 및 결과에 대한 정보 포함)
 - (8) 해당되는 경우 위험도 관리를 위한 후속 완화 전략
 - (9) 완화된 위험도 수준(즉, 완화 후 잔존 위험도)
 - (10) 적용중인 운전 중 규정 또는 표준과 관계
3. 원래 평가에 관여하지 않은 다른 사람들이 다음 평가를 다시 작성하거나 업데이트 할 수 있도록 충분한 데이터를 수집하고 유지해야 한다. 이를 용이하게 하기 위해, 정보를 전산화 된 데이터베이스에 저장하는 것이 바람직하다. 이를 통해 분석, 검색 및 직무 능력이 향상된다. 데이터베이스의 유용성은 RBI 평가에서 개발된 권장 사항을 관리하고 지정된 기간 동안 전체 위험도를 관리하는 데 특히 중요하다.

602. RBI 방법론

1. RBI 분석을 수행하는 데 사용된 방법론은 어떤 종류의 평가가 수행되었는지 명확하게 문서화해야 한다. 확률과 고장 결과의 근거가 문서화되어야 한다. 특정 소프트웨어 프로그램을 사용하여 평가를 수행하는 경우 문서화해야 한다. 의사 결정 과정의 근거와 논리를 다음 평가에 확인하거나 복제할 수 있도록 문서가 충분히 완성되어야 한다.

603. RBI 인력

1. 위험도의 평가는 분석을 수행하는 팀 또는 인력의 지식, 경험 및 판단에 달려 있다. 따라서 관련된 팀원의 기록과 RBI 목적을 위해 팀을 이끄는 기술에 대한 기록도 획득해야 한다. 분석이 반복되거나 업데이트 될 때 위험도 평가의 근거를 이해하는 데 도움이 된다.

604. 기간

1. 위험도 수준은 일반적으로 시간의 함수이다. 이는 손상 메커니즘의 시간 의존의 결과이거나 단순히 장비 운전의 변경 가능성이다. 따라서 RBI 분석이 적용되는 기간은 최종 문서에서 범위를 한정하고 획득되어야 한다. 이를 통해 오랜 시간 동안 효과적으로 위험도를 관리 및 추적할 수 있다.

605. 위험도 할당의 근거

1. 확률과 고장 결과를 평가하는 데 사용되는 다양한 입력값을 획득해야 한다. 여기에는 다음 정보를 포함하지만 이에 한정하지는 않는다.
 - (1) 평가에 중요한 기본 장비 데이터 및 검사 이력(예: 작동 조건, 건축 자재, 서비스 노출, 부식물, 검사 이력)
 - (2) 실효성 있고 신뢰할 수 있는 손상 메커니즘
 - (3) 각 손상 메커니즘의 심각성을 판단하는 데 사용되는 기준
 - (4) 예상되는 고장 모드(예: 누출, 균열 또는 파열)
 - (5) 각 고장 모드의 심각성을 판단하는 데 사용되는 주요 요인
 - (6) 안전, 건강, 환경 및 재무를 포함한 다양한 결과 범주를 평가하는 데 사용되는 기준
 - (7) 위험의 수용 가능성을 평가하는 데 사용되는 위험 기준

606. 위험도 평가를 위한 가정

1. 위험도 분석은 그 특성상 장비의 열화 특성과 범위에 대한 특정한 가정이 필요하다. 더욱이, 고장 모드의 할당과 계 획된 사건의 심각성은 분석이 정량적 또는 정성적인지에 관계없이 불가피하게 다양한 가정에 근거한다. 전반적인 위험도의 근거를 이해하려면 최종 문서에서 이러한 요소를 획득하는 것이 필요하다. 확률과 결과를 분석하는 동안 이루어진 주요 가정을 명확하게 문서화하면 RBI 평가를 재생성하거나 업데이트하는 기능이 크게 향상된다.

607. 위험도 평가 결과

1. 확률, 고장 결과 및 위험도 결과는 문서에 기록되어야 한다. 위험도 완화가 필요한 품목의 경우 완화에 대한 권장 사항 및 완화 후 결과도 문서화해야 한다.

608. 완화 및 후속 조치

1. RBI를 통한 위험도 관리의 가장 중요한 측면 중 하나는 완화 전략의 개발 및 사용이다. 그러므로 확률 또는 결과를 줄이기 위해 필요한 특정 위험도 완화는 평가에서 문서화되어야 한다. 특정 작업에 할당된 완화 정도는 시간 의존성과 함께 획득되어야 한다. 모든 완화의 이행을 책임지는 방법론, 절차 및 인적사항도 문서화해야 한다.

608. 적용 가능 규격, 표준 및 정부 규정

1. 다양한 규격, 표준 및 정부 규정에 따라 대부분의 압력 장비에 대한 검사가 이루어지므로 RBI 평가의 일부로 이러한 문서를 참조하는 것이 필요하다. 이는 검사 범위 또는 빈도를 줄이기 위해 RBI 프로그램을 사용하는 경우 특히 중요하다. ↓

위험도 기반(RBI) 수행 지침서

발행인 이 형 철
발행처 한 국 선 급
 부산광역시 강서구 명지오션시티 9로 36
 전화 : 070-8799-7114
 FAX : 070-8799-8999
 Website : <http://www.krs.co.kr>

신고번호 : 제 2014-000001호 (93. 12. 01)