KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE 기술지원규정

보우타이(Bow Tie) 리스크 평가 기법에 관한 기술지원규정 A-R-3-2026

한국산업안전보건공단

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

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 제・개정경과

- 2025년 11월 산업안전일반분야 표준제정위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- KOSHA GUIDE C-C-62-2026「방호계층분석기법(LOPA)에 관한 기술지원규정」
- KOSHA GUIDE C-C-46-2026「화학물질폭로영향지수(CEI) 산정에 관한 기술지원규정」
- KOSHA GUIDE C-C-39-2026「결함수 분석기법에 관한 기술지원규정」
- KOSHA GUIDE C-C-42-2026「사건수 분석기법에 관한 기술지원규정」
- KOSHA GUIDE C-C-21-2026「위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정에 관한 기술지원규정」
- Layer of Protection Analysis-Simplified Process Risk Assessment(CCPS, 2001)
- Introducing Dow Application of Layer of Protection Analysis, Dow Chemical (2002)
- 보우-타이(Bow-Tie) 위험성평가 기법, pp74-79, 2009 한국안전학회 추계학술대회 논문집
- 방호층분석기법을 이용한 반정량적 보우-타이 위험성평가 기법, p162-166, 2009 한국안전학회 추계학술대회 논문집
- HAZOP을 이용한 방호층분석 기법, p278-287, 2009 한국안전학회 추계학술대회 논문집

○ 관련 법규・규칙・고시 등

- 산업안전보건법 제36조(위험성평가의 실시), 제44조(공정안전보고서의 작성・제출)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.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. 목 적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 비상조치 계획의 특징 등 ····· 2

5. 보우타이 리스크 기법 ····· 6

6. HAZOP 결과서를 이용한 반정량적 리스크 평가 ····· 33

7. 후속조치 ····· 34

<별표 1> 원인에 대한 발생확률 환산점수 ····· 42

<별표 2> 독립방호계층(IPL)의 성능점수 ····· 43

<별표 3> 안전밸브(또는 파열판)의 성능점수 ····· 44

<별표 4> 설비 또는 활동별 대책에 대한 성능점수 ····· 45

<별표 5> 독립방호계층(IPL)의 인정기준 예 ····· 46

<별표 6> 독립방호계층(IPL)으로 인정되지 않는 예 ····· 47

보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 제36조(위험성평가의 실시), 제105조(유해인자의 유해성·위험성 평가 및 관리), 제109조(중대한 건강장해 우려 화학물질의 유해성·위험성 조사), 에서 규정하고 있는 사업주의 의무사항인 사업장의 유해위험요인에 대한 실태를 파악하고 이를 평가하여 관리·개선하는 것을 돕기 위한 보우 타이 리스크 평가 기법을 정하는데 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 규정은 사업장의 전반에 대해 리스크를 평가하는데 적용할 수 있으며, 주로 사고 발생 빈도가 높고 결과의 심각도가 높은 사고의 원인과 결과 및 이에 대한 대책을 도식적으로 표시하면서 그 대책의 적정성을 검토하고자 하는 경우에 유용하다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다

(가) “정성적 보우타이 리스크 평가 기법(Qualitative Bow-Tie risk assessment method)”이라 함은 유해위험요인(Hazard)으로부터 결과까지의 리스크 경로를 따라 예방대책 및 감소대책을 분석·설명하기 위해 보우타이 선도(Bow-Tie diagram)를 사용한 방법을 말한다.

(나) “반정량적 보우타이 리스크 평가 기법(Semi-quantitative Bow-Tie risk assessment method)”이라 함은 유해위험요인(Hazard)으로부터 결과까지의 리스크 경로를 따라 예방대책 및 감소대책을 분석·설명하기 위해 보우타이 선도(Bow-Tie diagram)를 사용하면서 대책의 효과성을 평가하는 방법을 말한다.

(다) “보우타이 선도 (Bow-Tie diagram, BTD)”란 사상(Event)을 중심으로 왼쪽에는 사상의 원인과 관련된 사고 시나리오를, 오른쪽에는 사상의 결과와 관련된 사고

시나리오를 표시하고, 예방대책은 원인과 사상 사이, 감소대책은 사상과 결과 사이에 각각 표시한 그림을 말한다.

(라) “위협(Threat)”이라 함은 사상의 원인(Cause)을 말하며, 이 규정에서는 원인과 동일한 개념으로 사용한다.

(마) “예방대책(Preventive control)”이라 함은 유해위험요인(Hazard)이 사상으로 전개되는 것을 방지하는 모든 대책을 말한다.

(바) “감소대책(Mitigation control)”이라 함은 사상이 사고의 결과로 이어지는 것을 방지하는 모든 대책을 말한다.

(사) “악화요소(Escalation factor)”라 함은 예방대책 및 감소대책의 역할 또는 기능을 약화시키거나 무효화시키는 요소를 말한다.

(아) “악화요소 방지대책(Escalation factor control)”이라 함은 악화요소를 관리하여 예방대책 및 감소대책이 정상적인 역할 및 기능을 유지하도록 하는 대책을 말한다.

(자) “사고 시나리오(Scenario)”란 원하지 않는 결과를 가져오는 사건이나 사건의 연속을 말한다.

(차) “방호계층(Protection layer)”이란 시나리오가 원하지 않는 방향으로 진행하지 못하도록 방지할 수 있는 장치, 시스템 및 행위를 말한다.

(카) “독립방호계층(Independent protection layer, IPL)”이란 초기사고나 사고 시나리오와 관련한 다른 어떤 방호계층의 작동과는 관계없이 원하지 않는 결과로 전개되는 것으로부터 사고를 방호할 수 있는 장치나 시스템 또는 동작을 말한다. 독립적이라는 것은 방호계층의 성능은 초기사건의 영향을 받지 않고 다른 방호계층의 고장으로 인한 영향을 받지 않는다는 것을 말한다.

(타) “사고 시나리오(Scenario)”란 원하지 않는 결과를 가져오는 사건이나 사건의 연속을 말한다.

(파) “목표수준(Target factor)”이란 시나리오 결과의 크기(심각도)에 따라 관리해야 할 수준을 말한다.

(하) “기본공정제어시스템(Basic process control system, BPCS)”이란 공정이나 운전원

으로부터 나온 입력신호에 대응하는 시스템으로 출력신호를 발생시켜 공정이 정상 운전 범위 내에서 운전되도록 하는 시스템을 말한다. 기본공정제어시스템은 센서, 논리연산기, 공정제어기 및 최종제어요소로 구성되며, 공정이 정상 운전범위 내에서 운전되도록 제어한다. BPCS는 인간기계인터페이스(Human machine interface, HMI)도 포함하며, 공정제어시스템으로도 불린다.

(거) "최종제어요소(Final control element)"란 제어를 달성하기 위하여 공정변수를 조작하는 장치를 말한다.

(너) "논리해결기(Logic solver)"란 상태제어 즉, 논리함수를 실행하는 기본공정제어시스템(BPCS)이나 안전계장시스템(SIS)의 일부분을 말한다. 안전계장시스템의 논리해결기는 일반적으로 고장이 허용되는 프로그램 가능 논리제어기(Programmable logic controller, PLC)이다. 기본공정제어시스템상의 단일 중앙처리장치는 연속식 공정제어와 상태제어 기능을 수행할 수 있다.

(더) "작동요구 시 고장확률(Probability of failure on demand, PFD)"이란 시스템이 특정한 기능을 작동하도록 요구받았을 때 실패할 확률을 말한다.

(러) "안전계장기능(Safety instrumented function, SIF)"이란 한계를 벗어나는(비정상적인) 조건을 감지하거나, 공정을 인간의 개입 없이 기능적으로 안전한 상태로 유도하거나 경보에 대하여 훈련받은 운전원을 대응하도록 하는 특정한 안전무결성 등급(Safety integrity level, SIL)을 갖는 기능을 말한다.

(머) "안전계장시스템(Safety instrumented system, SIS)"이란 하나 이상의 안전계장기능을 수행하는 센서, 논리해결기, 최종제어요소의 조합을 말하며, 일반적으로 비상정지시스템(Emergency shut-down system, ESD) 또는 안전 인터록시스템으로 불린다.

(버) "안전무결성등급(Safety integrity level, SIL)"이란 안전계장시스템에 대한 신뢰도 수준이며, 작동요구 시 그 기능을 수행하는데 실패할 안전계장기능의 확률을 규정하는 안전계장기능에 대한 성능기준을 말한다.

(서) "ERPG-3"란 비상대응계획수립지침(Emergency response planning guideline)에서 사용되는 농도 중 거의 모든 사람이 1시간까지 노출되어도 생명의 위험을 느끼지 않는 공기 중 최대 농도를 말한다.

(2) 그 밖에 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 이 규정에서 특별히 규정하는 경우를

제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 안전보건규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 일반사항

4.1 보우타이 리스크 평가 시기

(1) 일반적으로 보우타이 리스크 평가는 다음과 같은 시기에 실시한다.

(가) 다른 정성적 리스크 평가 결과 중 심각도가 높은 경우

(나) 새로운 공정이나 설비를 도입하는 경우

(다) 공정 또는 작업방법을 변경할 경우

(라) 새로운 물질을 사용할 경우

(마) 사고 발생 시 원인을 파악하고 대책의 적절성을 평가할 경우

(바) 이해당사자에게 사용하는 설비의 안전성을 쉽게 설명하고자 할 경우

(2) 리스크 평가 우선순위는 KOSHA GUIDE C-C-21-2026「위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정에 관한 기술지원규정」을 참조하여 결정할 수 있다.

4.2 리스크 평가팀 운영

(1) 리스크 평가팀은 다음과 같이 구성하며, [별지 서식1]에 평가팀을 기록한다.

(가) 팀장(평가대상 공정 또는 작업의 책임자)

(나) 대상공정(설비)을 운전한 경험이 있는 현장작업책임자

(다) 작업자

(다) 정비작업자 또는 정비기술자(필요시 계장/전기분야 전문가)

(라) 리스크 평가 전문가

(2) 팀장의 역할은 다음과 같다.

(가) 평가대상 설비·공정 및 절차 등에 대한 지식과 경험 보유

(나) 리스크 평가 기법 숙지

(다) 대상공정의 안전보건정보(아차사고 사례 포함) 수집

(라) 팀 구성원 간 안전보건정보 교환을 통한 회의 진행

(마) 리스크 평가를 효율적으로 시행할 수 있도록 역할 수행

(3) 리스크 평가 진행은 다음과 같은 방법으로 실시한다.

(가) 리스크 평가의 수행은 팀장이 중심이 되어 수행한다.

(나) 팀장은 팀 구성원들이 자유롭게 의견을 제시하도록 유도한다.

4.3 보우타이 리스크 평가에 필요한 자료와 요건

(1) 팀 리더는 리스크 평가의 목적과 범위를 정한 후 평가에 필요한 자료를 수집한다.

(2) 설계도 등 공정안전 자료는 현장과 일치해야 한다.

(3) 보우타이 리스크 평가 수행에 필요한 자료 목록은 다음과 같다.

(가) 과거의 리스크 평가 실시 결과서

(나) 공정설명서

(다) 공정흐름도(PFD) 및 물질수지

(라) 공정배관계장도(P&ID)

(마) 기기사양서

(바) 전체배치도(Plot plan) 및 기기배치도

(사) 물질안전보건자료(MSDS)

(아) 정상 및 비정상 운전절차서

(자) 안전밸브 및 파열판 명세

(차) 경보 및 자동운전정지 설정치 목록을 포함한 인터록 및 자동운전정지 로직

(카) 전기단선도, 방폭 및 접지 등 전기안전관련 자료

(타) 점검, 정비 및 유지관리 지침서

(파) 안전장치 및 설비 고장률 자료

(하) 작업자 실수 관련 자료

(거) 비상조치계획

(너) 과거의 사고(아차사고 포함) 사례

(더) 기타 리스크 평가를 위한 자료

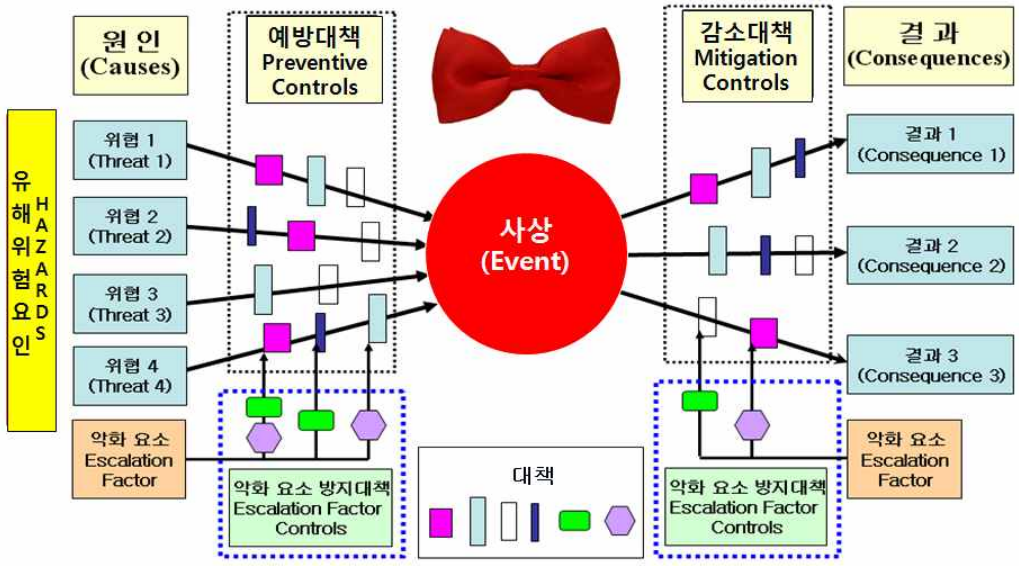
5. 보우타이 리스크 기법

5.1 보우타이 선도(Bow-Tie Diagram)

(1) 보우타이 선도는 <그림 1>과 같은 형태를 띤다.

(2) 보우타이 선도에는 유해위험요인, 사상의 원인, 사상의 결과, 사상의 발생을 예방하기 위한 대책, 사상의 결과를 감소시키기 위한 대책, 예방대책 및 감소대책의 역할과 기능을 약화 또는 무효화시키는 악화요소와 이것을 방지하는 악화요소 방지대책이 표시된다.

(3) 보우타이 선도는 사상의 원인과 결과를 하나의 그림으로 보여주기 때문에 이해관계자에게 설명할 때 유용하게 사용할 수 있다.



<그림 1> 보우타이 선도

5.2 보우타이 리스크 평가 추진절차 및 단계별 수행방법

5.2.1 보우타이 리스크 평가 추진절차

(1) 리스크 평가 대상공정(또는 작업) 선정

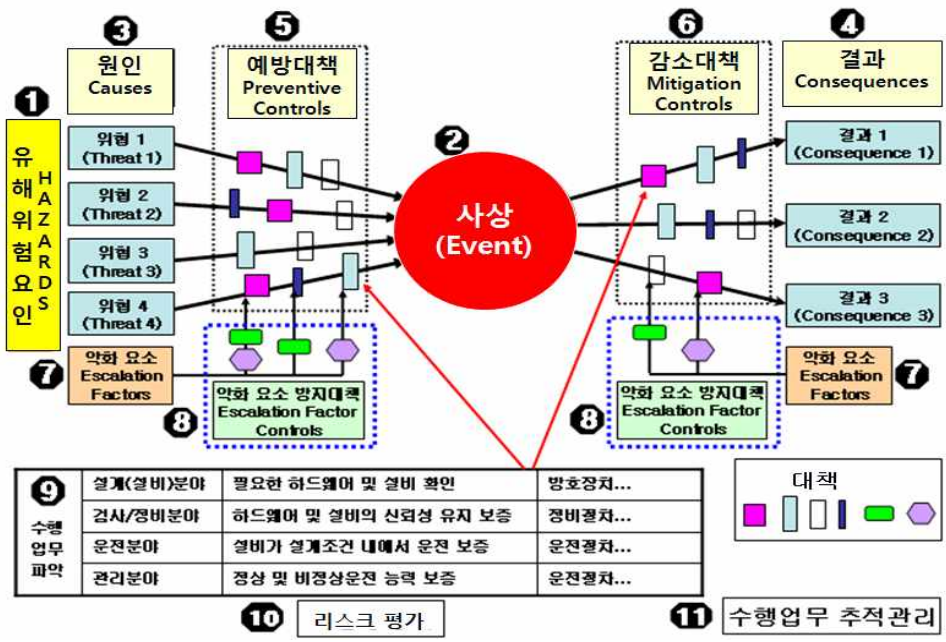
(2) 공정(또는 작업) 설명

(3) 대상공정(또는 작업)에 대한 서류검토 및 현장 확인

(4) 보우타이 리스크 평가 실시

(가) 보우타이 리스크 평가는 <그림 2>에 표시된 순서에 따라 수행한다.

(나) 리스크 평가 시에는 <표 1>에서 제시된 단계별 질문을 사용할 수 있다.



<그림 2> 보우타이 리스크 평가 순서

<표 1> 보우타이 리스크 평가 기법 진행단계별 질문 (예)

단계	단계별 추진사항	구체적인 추진을 위해 단계별 필요한 질문
1	유해위험요인 파악	어떤 유해위험요인이 있는가?
2	사상 파악	유해위험요인이 통제되지 않을 때 무엇이 일어나는가?
3	위협(원인) 파악	유해위험요인이 통제되지 않도록 하는 원인은 무엇인가?
4	결과 파악	사상의 잠재적인 결과는 무엇인가?
5	예방대책 파악	어떻게 위협(원인)을 통제할 수 있는가?
6	감소대책 파악	어떻게 결과의 크기를 제한하거나 감소시킬 수 있는가?
7	악화요소 파악	어떻게 해서 예방(감소)대책이 실패하거나 효과가 저하될 수 있는가? 예방(감소)대책의 기능을 약화 또는 무효화시키는 요인은 무엇인가?
8	악화요소 방지대책 파악	어떻게 예방(감소)대책이 실패되지 않음을 보증하는가?
9	수행업무(Task) 파악	예방대책(감소대책)이 계속 유효함을 보증하기 위한 수행 업무는 무엇인가? (설계분야, 정비/검사분야, 운전분야, 관리분야)
10	리스크 평가	대책이 적절한가? (허용수준을 만족하는가?) 만약 허용수준을 만족하지 못하면 대책을 추가하여 5~10단계를 반복한다.
11	수행업무 추적관리	누가 언제 어떻게 이 업무를 수행하는가? 절차서, 체크리스트, 작업지시서 등이 있는가? 완료여부를 어떻게 확인하는가?

5.2.2 보우타이 리스크 평가 단계별 수행내용

(1) 유해위험요인 파악

유해위험요인은 사업장 실정에 맞게 다양한 기법과 방식을 활용할 수 있으며, 아래 요인들을 참고하여 파악하도록 한다.

(가) 기계적 요인

(나) 전기적 요인

(다) 물질(화학물질, 방사선) 요인

(라) 생물학적 요인

(마) 화재 및 폭발 위험요인

(바) 고열 및 한랭 요인

(사) 물리학적 작용에 의한 요인

(아) 작업환경조건으로 인한 요인

(자) 육체적 작업부담/작업의 어려움 요인

(차) 인지 및 조작능력 요인

(카) 정신적 작업부담 요인

(타) 조직관련 요인

(하) 그 밖의 유해위험요인

(2) 사상 파악

(가) 특정한 단위 상황의 발생 또는 변화를 의미하는 사상을 파악한다.

(나) 사상은 결과를 초래하거나 초래하지 않을 수 있으며, 그 자체가 결과가 되는 경우도 있지만 대부분 사상으로 인해 결과가 초래된다. 사상의 예는 아래와 같다.

① 화학물질의 누출(Loss of containment)

② 전격(Electrical shock)

③ 구조물의 파괴

④ 낙하 또는 비래물

⑤ 추락 또는 전도

⑥ 조작 실패

⑦ 산소결핍

⑧ 기타 사상

(3) 위협 또는 원인 파악

어떤 사상을 일으키는 모든 원인을 파악한다. 예를 들면, 위험물 저장탱크에서의 위험물 누출이 사상일 경우 이에 대한 원인은 과충전, 탱크 부식, 밸브 오조작, 밸브 누설 등이다.

(4) 결과 파악

(가) 사상이 발전되어 최종적으로 나타나는 결과를 파악한다.

(나) 감소대책의 종류에 따라 다르게 나타날 수 있는 결과를 각각 파악한다. 예를 들면, 위험물질이 누출되었을 때 방유둑(Dike, Bund)이 적절히 설치되었을 경우에는 누출된 위험물질이 방유둑 내에 있지만, 방유둑이 없거나 방유둑의 밸브가 개방되었을 경우에는 위험물질이 외부로 누출될 수 있고, 또한 외부로 누출된 위험물질은 적절하게 점화원을 관리하면 누출로 마무리되지만 그렇지 않으면 결과가 화재 또는 폭발로 이어질 수 있다.

(5) 예방대책 파악

(가) 파악된 원인이 사상으로 발생되는 것을 방지하기 위한 예방대책을 각각의 원인별로 파악한다.

(나) 예방대책에는 위험한 작업의 폐지·변경, 유해·위험물질 대체 등을 조치하거나, 설계

나 계획 단계에서 위험성을 제거 또는 저감하는 조치를 담은 대책, 공학적 대책, 관리적 대책, 교육적 대책 등을 모두 포함한다.

(6) 감소대책 파악

(가) 발생된 사상이 결과로 이어지는 것을 방지하기 위한 감소대책을 각각의 결과에 대해 파악한다.

(나) 기타 사항은 5.2.2 (5)항의 예방대책에서 제시된 사항을 준용한다.

(7) 악화요소 파악

(가) 예방대책의 역할과 기능을 약화시키거나 무효화시킬 수 있는 요소를 파악한다.

(나) 감소대책의 역할과 기능을 약화시키거나 무효화시킬 수 있는 요소를 파악한다.

(8) 악화요소 방지대책 파악

(가) 예방대책의 역할과 기능을 약화시키거나 무효화시킬 수 있는 요소에 대한 방지대책을 파악한다.

(나) 감소대책의 역할과 기능을 약화시키거나 무효화시킬 수 있는 요소에 대한 방지대책을 파악한다.

(다) 예방대책과 악화요소 및 악화요소 방지대책의 예는 <표 2>와 같다.

(라) 감소대책과 악화요소 및 악화요소 방지대책의 예는 <표 3>과 같다.

<표 2> 예방대책, 악화요소 및 악화요소 방지대책 (예)

예방대책	악화요소	악화요소 방지대책
정비 프로그램	정비불량	정기적인 정비활동 감사
검사주기 관리	검사주기 부적합	정기적인 감사/ 검사주기의 적합성 점검
화학물질 취급 절차서	운전원의 절차서 오해	모든 언어로 절차서 번역/ 운전원 교육
용기 운반 절차서	절차서대로 수행하지 않음	절차서에 대한 정기적 훈련
안전수칙 제정	안전수칙 미 준수 분위기 팽배	위반자 조치 기준 강화/ 안전의식 고취 교육 등
안전밸브 설치	안전밸브 전단의 차단밸브를 잠금	안전밸브 전단의 차단밸브는 열린 상태로 잠금조치(Lock open, LO) 및 주기적 점검

<표 3> 감소대책, 악화요소 및 악화요소 방지대책 (예)

감소대책	악화요소	악화요소 방지대책
화학물질 중화처리	중화제 유효기간 초과	정기적인 교체 주기 확인 및 설정
개인보호구	용도에 맞지 않는 보호구	보호구 검토/ 보호구 테스트
비상대피 절차	운전원이 알지 못함	정기적인 비상대피 훈련
물분무시설	물분무시설 노즐의 막힘	정기적인 노즐 청소
소화기	소화기 충진압력 저하	정기적인 소화기 점검
방유둑 설치	방유둑의 드레인 밸브 개방	빗물 제거 시에만 개방, 순찰 시 주기적 닫힘 상태 확인

(9) 수행업무 파악

(가) 예방대책 및 감소대책이 계속 유효함을 보증하기 위해 수행하는 업무가 무엇인지를 파악한다. 적절한 절차서나 지침서 등이 있어야 한다.

(나) 수행업무에는 설계분야, 정비 및 검사분야, 운전분야 및 관리분야가 포함될 수 있다.

(10) 리스크 평가

(가) 위협(또는 원인)의 발생빈도(확률)는 <표 4>를 사용하거나 또는 다른 적절한 기준을 정하여 산정한다.

(나) 결과의 심각도는 <표 5>를 사용하거나 또는 다른 적절한 기준을 정하여 산정한다.

(다) <표 6>에 따라 빈도와 심각도를 조합하여 리스크 등급을 산정한다.

(라) 리스크 등급이 허용수준 이상일 경우에는 추가적인 예방대책 또는 감소대책을 수립한 후에 단계 (5)에서 (10)까지를 반복한다.

(마) 리스크의 허용수준은 ALARP(as low as reasonably practical : 합리적으로 실행가능한 낮은 수준) 원칙에 따라 사업장의 관리기준에 의해 정한다.

(바) 발생빈도 및 심각도 산정 시에 현재의 예방대책 및 감소대책을 고려하여 산정한다.

<표 4> 발생 빈도 (예)

등급	발생 빈도	설 명
1	1회/(500년 초과)	거의 희박함
2	1회/(100~500년)	매우 낮음
3	1회/(50~100년)	낮음
4	1회/(10~50년)	중간정도
5	1회/(1~10년)	높음
6	1회/1년 이내	매우 높음

<표 5> 결과의 심각도 (예)

등급	신체상해 기준	재산손해 기준 (원)	운전정지 기준	지역사회(주민) 영향 기준	환경 영향 기준	사업장 명성 손상
1	통원 치료 상해	100만 미만	생산량 감소운전	거의 없음	거의 없음	거의 없음
2	경상 (4일 이상의 입원)	100만~1천만 미만	1일 미만	약간의 악취 또는 소음	가벼운 영향	가벼운 충격
3	신체 장해	1천만~1억 미만	1일~10일미만	악취 또는 소음 (민원야기)	소규모 영향	상당한 충격 (제한지역)
4	사망 1명	1억~10억미만	10일~1개월미만	부상 발생 (1인 이상)	중규모 영향	상당한 충격 (국내적)
5	2~9인 사망	10억~100억 미만	1~3개월미만	중상 발생 (1인 이상)	중대한 영향	엄청난 충격 (국내적)
6	10인 이상 사망	100억 이상	3개월 이상	사망 또는 불구	대규모 심각한 영향	엄청난 충격 (국제적)

<표 6> 리스크 산정표 (예)

구분		결과의 심각도					
		1	2	3	4	5	6
발생 빈도	1	8등급	8등급	7등급	6등급	6등급	5등급
	2	8등급	7등급	6등급	6등급	5등급	4등급
	3	7등급	6등급	6등급	5등급	4등급	3등급
	4	6등급	6등급	5등급	4등급	3등급	2등급
	5	6등급	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급
	6	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급	1등급

(11) 반정량적 리스크 평가

(가) 반정량적 리스크 평가는 5.4에 따라 시행한다.

(나) 악화요소가 있는 예방대책 및 감소대책은 악화요소 방지대책이 적절히 실행된 경우에 한하여 방호계층으로 인정한다.

(12) 수행업무 추적관리

(가) 예방대책, 감소대책 및 악화요소 방지대책에 대한 추진일정과 담당자를 정한다.

(나) 주기적으로 완료 여부를 확인한다.

5.3 정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표 사용

(1) 이 규정에서 사용하는 “정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(이하 “도표”라고 한다)”는 [별지서식3]과 같다.

(2) 도표에는 보우타이 선도(BTD), 예방대책 및 감소대책, 악화요소 및 악화요소 방지대책, 정성적 리스크 평가표 및 평가반 등의 항목이 포함된다.

(3) 도표에 사용되는 용어에 대한 개념과 사용방법은 아래와 같다.

(가) “사상”은 보우타이 선도(BTD)의 중심에 위치하며, 그 부분에는 예방하고자 하는 주 이유가 되는 사상을 기입한다. 화학물질과 관련된 경우에는 해당물질명도 함께 기입한다.

(나) “위협/원인”란에는 사상의 원인을 종류별로 기입한다.

(다) “T1 ~ Tn”은 위협/원인의 번호를 나타내며, 그 아래 칸에는 해당 원인의 발생빈도를 기입한다. 발생빈도는 <표 4>를 참조한다.

(라) “결과”란에는 발생가능한 결과를 종류별로 기재한다.

(마) “C1 ~ Cn”은 시나리오의 최종 결과에 대한 번호를 나타내며, 그 아래 칸에는 결과의 심각도에 대한 등급을 기입한다. 심각도 등급은 <표 5>를 참조한다.

(바) “nPm”은 n번째 위협/원인에 대한 m번째 예방대책을 의미한다. 그 아래의 세 개의 칸 중 첫 번째 칸에는 해당대책이 기존대책인지 또는 신규대책인지를 표시한다. 둘 째 및 세 째 칸에는 해당대책에 대한 악화요소가 있을 경우 표시한다. E1은 첫 번째 악화요소이고, E2는 두 번째 악화요소를 말한다. 만약 예방대책이 복수의 위협/원인에 대해 공통적인 대책일 경우에는 원인에 대한 번호를 생략하고 단순히 대책번호(예, Pm)만 표시한다.

① <표 7>은 예방대책에 대한 기호의 의미를 보여주는 예이다.

<표 7> 예방대책 기호의 예

1P3 신규 | E1 | E2	1P3 : 원인 1에 대한 세 번째 예방대책 신규 : 신규대책 E1 : 악화요소 1 E2 : 악화요소 2

② <표 8>은 도표에 표시된 예방대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당대책의 기존 또는 신규 여부, 예방대책의 종류, 신규대책일 경우 담당과 조치기한 및 완료 여부, 해당대책과 관련된 사항(절차 등)이 포함된다.

<표 8> 예방대책에 대한 확인 항목의 예

No	상태	예방대책	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1P1	기존	안전밸브 설치	-	-	안전밸브 관리 절차	-
1P2	신규	고압경보장치 설치	ooo	00.00	안전운전절차 반영	
1P3						

(사) “nMm”은 n번째 결과에 대한 m번째 감소대책을 의미한다. 감소대책과 관련된 기호는 예방대책의 기호와 동일하게 적용된다.

① <표 9>는 감소대책에 대한 기호의 의미를 보여주는 예이다.

<표 9> 감소대책 기호의 예

2M2 기존 | E1 | E2	2M2 : 결과 2에 대한 두 번째 예방대책 기존 : 기존대책 E1 : 악화요소 1 E2 : 악화요소 2

② <표 10>은 도표에 표시된 감소대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당대책의 기존 또는 신규 여부, 감소대책의 종류, 신규대책일 경우 담당과 조치기한 및 완료 여부, 해당대책과 관련된 사항(절차 등)이 포함된다.

<표 10> 감소대책에 대한 확인 항목의 예

No	상태	감소대책	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1M1	기존	방유둑 설치	-	-	저장탱크 점검	-
1M2	신규	가스누설감지기 설치	ooo	00.00	감지기 점검 절차	

(아) “nPmEk”는 n번째 위협/원인에 대한 m번째 예방대책에 영향을 미치는 k번째 악화요소를 의미한다. 예를 들면, 1P1E1은 원인 1의 예방대책 1에 영향을 미치는 첫 번째 악화요소를 말한다.

① <표 11>은 예방대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예이다. 확인 항목에는 악화요소 및 방지대책, 담당과 조치기한 및 완료 여부가 포함된다.

<표 11> 예방대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예

No	악화요소	악화요소 방지대책	담당	기한	완료
1P1E1	안전밸브 전단에 차단밸브 설치	차단밸브 Lock open 관리	OOO	00.00	

② 악화요소가 모두 조치되어야 해당대책은 방호대책으로 인정된다.

(자) “nMmEk”는 n번째 결과에 대한 m번째 감소대책에 영향을 미치는 k번째 악화요소를 의미한다. 이것은 예방대책에 사용되는 악화요소의 개념과 동일하게 적용된다.

① <표 12>는 감소대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예이다. 확인 항목에는 악화요소 및 방지대책, 담당과 조치기한 및 완료 여부가 포함된다.

<표 12> 감소대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예

No	악화요소	악화요소 방지대책	담당	기한	완료
1M1E1	드레인 밸브 개방	저장탱크 관리 절차에 반영	OOO	00.00	완료
1M2E1	가스감지기 테스트 미실시	절차서에 감지기 테스트 주기 반영	OOO	00.00	

② 악화요소가 모두 조치되어야 해당대책은 방호대책으로 인정된다.

(차) 시나리오 행로 : 하나의 위협/원인이 사상을 통해 결과로 이어지는 행로를 의미한다. 예를 들면, T1-C2는 위협/원인 T1에서 사상을 거쳐 결과 C2로 이어지는 행로를 말한다.

(카) 도표에 있는 양식에 따라 정성적 리스크 평가를 실시한다.

① 발생빈도와 결과의 심각도에 의한 리스크를 산정한다.

② 산정된 리스크가 사업장의 허용수준을 초과할 경우 추가적인 대책을 수립하여 평가를 반복한다.

(타) 리스크 평가반과 평가일자 등을 기입하고 평가 결과를 정리한다.

(4) 도표를 사용하는 리스크 평가에 대한 예는 [붙임 1]과 같다.

5.4 반정량적 보우타이 리스크 평가

5.4.1 일반사항

(1) 반정량적 리스크 평가의 적용 시기와 한계

(가) 일반적으로 반정량적 리스크 평가는 정성적 리스크 평가 결과 중 심각도가 높은 경우에 대해 적용하며, 리스크 평가 종류별 적용 단계는 <그림 3>의 흐름도와 같다.

(나) 반정량적 리스크 평가 결과에 대해 만족하지 못할 경우에는 결함수 분석기법 또는 사건수 분석기법 등과 같은 정량적 리스크 평가를 수행해야 한다.

① 결함수 분석기법은 KOSHA GUIDE C-C-39-2026 을 참조한다.

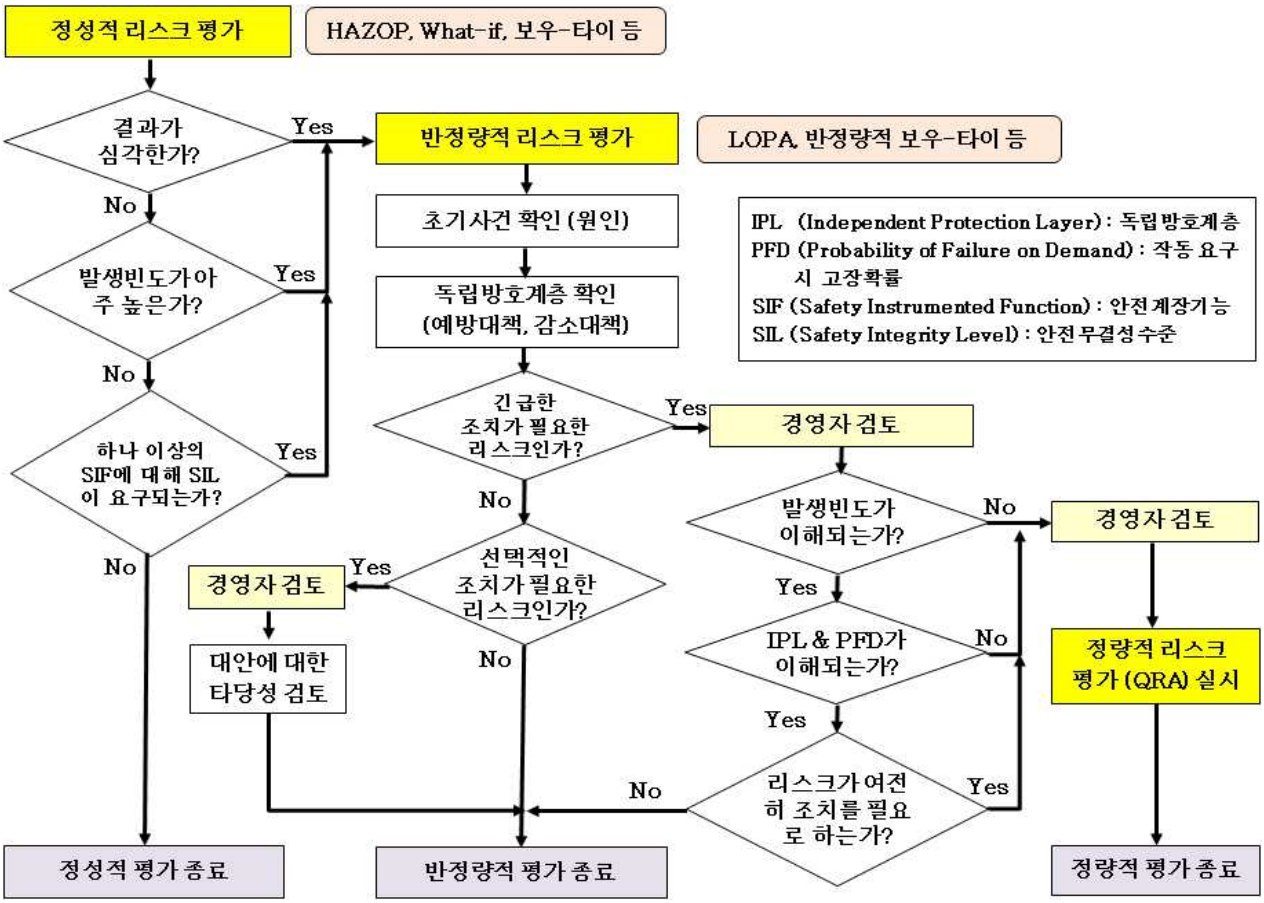
② 사건수 분석기법은 KOSHA GUIDE C-C-42-2026 을 참조한다.

(2) 방호계층 개념

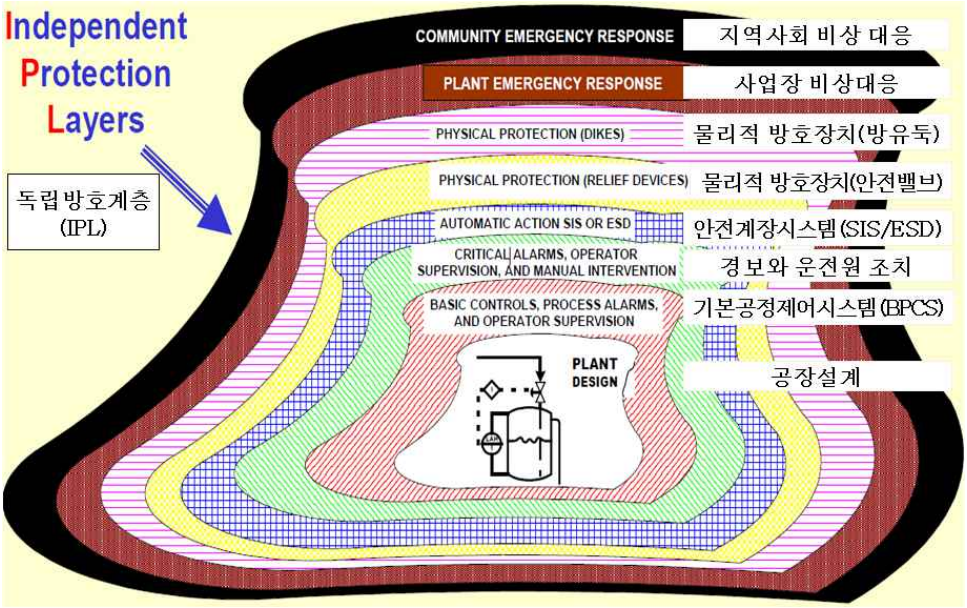
(가) 반정량적 보우-타이 리스크 평가 실시할 경우 기본 개념은 방호계층분석(Layer

of protection analysis, LOPA)의 개념을 따른다.

(나) 방호계층분석 기법의 개념은 <그림 4>과 같다. 어떤 잠재적인 위험이 최악의 결과로 나타나기 위해서는 그 위험을 둘러싸고 있는 다양한 모든 방호계층들이 모두 실패했을 경우가 된다.



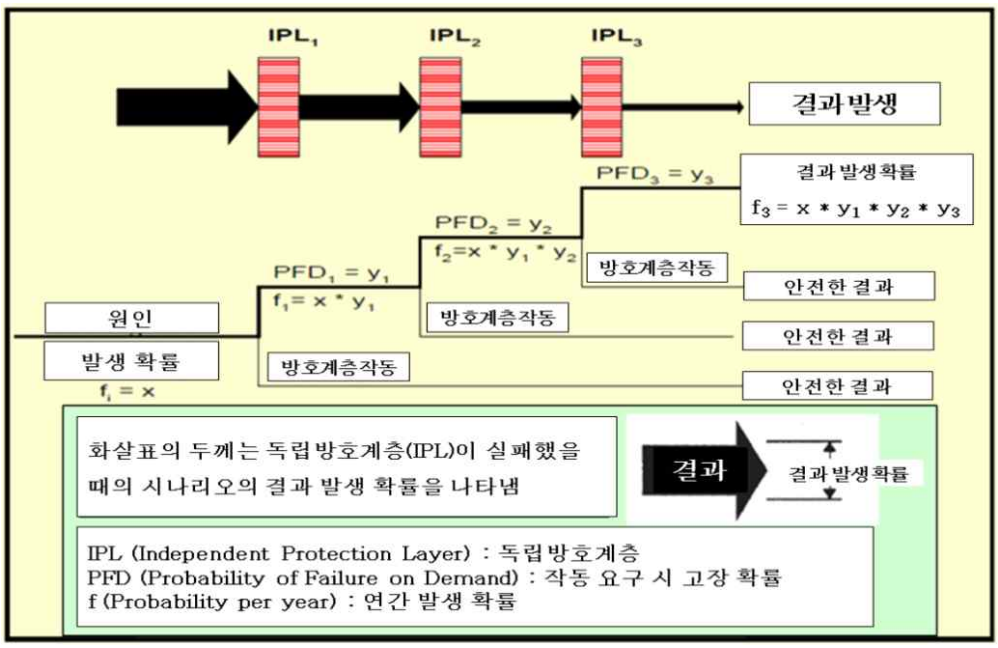
<그림 3> 리스크 평가 종류별 적용 흐름도



<그림 4> 시나리오에 대한 방호계층의 개념

(3) 반정량적 리스크 평가 개념

(가) 어떤 시나리오의 결과가 발생될 확률을 그 시나리오의 초기사건 발생확률과 방호계층들의 고장확률을 곱하여 비교한다. 예를 들면, <그림 5>는 한 사건이 발생했을 경우에 대한 발생가능한 모든 결과를 보여주는 사건수(Event tree)이다. <그림 5>에서 결과 발생확률(f_1, f_2, f_3)은 원인 발생확률(f_i)과 각각의 독립방호계층들의 고장확률(y_1, y_2, y_3)을 곱한 것으로 나타낼 수 있다.



<그림 5> 독립방호계층과 결과 발생확률

(나) 어떤 시나리오의 원인 발생확률과 그 시나리오에 대한 방호계층들의 고장확률을 곱해서 얻어진 값이 결과 발생확률값보다 작으면 현재의 대책이 적정하고, 그 반대이면 추가적인 대책이 필요하다. 이것은 아래와 같은 식으로 정리할 수 있다.

$f_k = f_i \times PFD_1 \times PFD_2 \times PFD_3 \times \cdots\cdots \times PFD_k$ 또는 $f_k = f_i \times y_1 \times y_2 \times y_3 \times \cdots\cdots \times y_k$

만약 $f_k > f_i \times y_1 \times y_2 \times y_3 \times \cdots\cdots \times y_k$ 이면, 현재의 대책이 적정함
$f_k \leq f_i \times y_1 \times y_2 \times y_3 \times \cdots\cdots \times y_k$ 이면, 추가적인 대책이 필요함

f_i : 원인 발생확률
y_1, y_2, y_3 ....(또는 PFD_1, PFD_2, PFD_3.....) : 각각의 방호계층들의 고장확률
f_k (f_1, f_2, f_3 .....) : 결과 발생확률

(4) 확률값의 단순화 작업

(가) 결과의 발생확률, 방호계층의 고장확률, 원인의 발생확률 등의 값이 소수점을 포함한 지수의 형태를 띠기 때문에 계산을 쉽게 하기 위해 <표 4>와 같이 간략하게 정수로 환산한다.

<표 4> 발생확률의 환산 (예)

발생확률 환산식	발생확률 환산값	확률의 의미
$10^{-x} \rightarrow x$	$10^{2} \rightarrow -2$	연간 100회 발생(고장) 확률
	$10^{1} \rightarrow -1$	연간 10회 발생(고장) 확률
	$10^{0} \rightarrow 0$	연간 1회 발생(고장) 확률
	$10^{-1} \rightarrow 1$	10년에 1회 발생(고장) 확률
	$10^{-2} \rightarrow 2$	100년에 1회 발생(고장) 확률
	$10^{-3} \rightarrow 3$	1,000년에 1회 발생(고장) 확률
	$10^{-4} \rightarrow 4$	10,000년에 1회 발생(고장) 확률

(나) 확률값 중 소수점은 반올림하여 계산한다. 계산 예는 <표 5>와 같다.

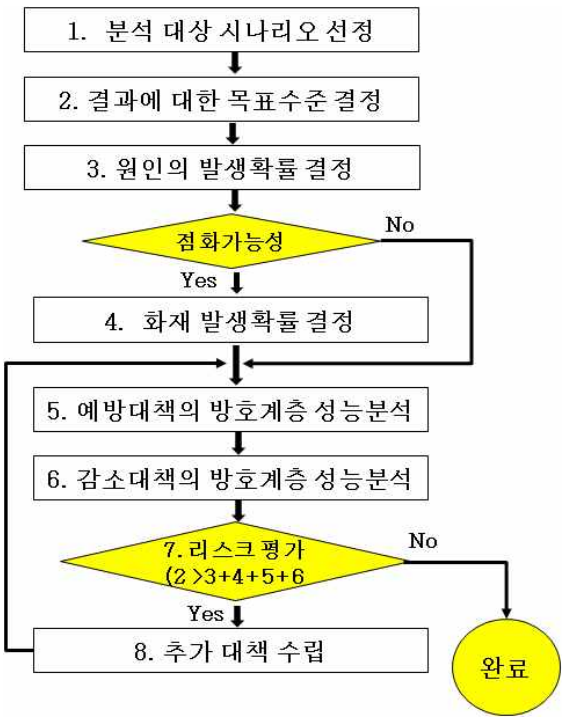
<표 5> 발생확률의 단순 변환 (예)

발생확률	단순변환 값	발생 확률 환산 값
$(0.50 \sim 0.99) \times 10^{X}$	1.0×10^{X}	-X
$(1.00 \sim 4.99) \times 10^{X}$	1.0×10^{X}	-X
$(5.00 \sim 9.99) \times 10^{X}$	$1.0 \times 10^{X+1}$	-(X+1)
$(0.50 \sim 0.99) \times 10^{-X}$	1.0×10^{-X}	X
$(1.00 \sim 4.99) \times 10^{-X}$	1.0×10^{-X}	X
$(5.00 \sim 9.99) \times 10^{-X}$	$1.0 \times 10^{-X+1}$	X-1

(다) 확률값을 단순하게 정리하였기 때문에 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 KOSHA GUIDE C-C-62-2026 「방호계측분석기법(LOPA)에 관한 기술지원규정」을 참조하거나 정확한 값을 사용한다.

5.4.2 반정량적 리스크 평가 절차

(1) 5.2.2 (10)항의 반정량적 리스크 평가에 대한 구체적인 수행 흐름도는 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 반정량적 리스크 평가 수행 흐름도

(2) <그림 6>의 수행 단계별 주요 추진 사항은 <표 6>과 같다.

<표 6> 단계별 주요 추진사항

단계	추진내용	단계별 주요 추진사항	참고사항
1	분석대상 시나리오 선정	결과의 심각도가 큰 시나리오부터 수행한다.	
2	결과에 대한 목표수준 결정	시나리오의 결과에 대해 아래의 기준을 참조하여 관리해야 할 목표수준을 결정한다. - 결과의 심각도 기준 - 화학물질 종류별 누출량 기준	표 7, 8, 9 사용
3	원인의 발생확률 결정	원인의 발생확률 환산점수를 결정한다.	별표 1 사용
4	점화확률 결정	결과가 화재일 경우 점화확률 환산점수를 결정한다.	표 11 사용
5	예방대책의 방호계층 성능분석	각각의 예방대책에 대한 독립방호계층(IPL) 여부를 확인하고, 독립방호계층별로 각각의 성능점수를 결정한다.	IPL여부(별표 5 ,6) 성능점수 결정 (별표 2, 3, 4 사용)
6	감소대책의 방호계층 성능분석	각각의 감소대책에 대한 독립방호계층(IPL) 여부를 확인하고, 독립방호계층별로 각각의 성능점수를 결정한다.	IPL여부(별표 5 ,6) 성능점수 결정 (별표 2, 3, 4 사용)
7	반정량적 리스크 평가	목표수준과 아래의 원인 발생확률 환산점수, 점화확률 환산점수 및 모든 대책의 성능점수를 더해서 비교한다. - 원인 발생확률 환산점수 - 점화확률 환산점수 - 모든 예방대책 방호계층 성능점수 - 모든 감소대책 방호계층 성능점수	2-(3+4+5+6)≤0 이면, 대책은 적정
8	추가 대책 추진	o 목표수준이 7단계에서 구한 합계를 초과할 경우에는 추가적인 대책을 세운다. o 추가적인 대책에 대해 목표수준을 만족하도록 5~7단계를 반복한다.	2-(3+4+5+6)>0 이면, 추가대책 추진

5.4.3 수행 단계별 고려사항

(1) 분석대상 시나리오 선정

(가) 분석대상은 보우타이 선도에서 원인-결과 시나리오 중 결과의 심각도가 높은 시나리오부터 시작한다.

(나) 위험과 운전분석(HAZOP) 기법 등의 정성적 위험성평가 결과를 사용하여 수행할 수 있다.

(2) 목표수준 결정

(가) 목표수준 결정 방법

① 목표수준은 결과의 심각도 기준 또는 화학물질 종류별 누출량 기준으로 결정할 수 있다.

② 목표수준은 사업장의 리스크 수준에 따라 조정할 수 있다. 예를 들면, 상대적으로 리스크가 높은 정유 및 석유화학공장 등은 목표수준을 한 단계 높일 수 있다.

(나) 결과의 심각도 기준

① 상해율 기준으로 목표수준을 결정할 때에는 <표 7>을 참조하여 정한다.

<표 7> 상해율과 목표수준 결정 (예)

결과의 종류	API 연간 상해율 (1994~1998 평균)	연간 발생확률	목표수준 결정
보고해야 할 상해	2×10^{-2}	10^{-1} ~ 10^{-2}	2
근로손실 발생 상해	5×10^{-3}	10^{-2} ~ 10^{-3}	3
신체 장해	데이터 없음	10^{-3} ~ 10^{-4}	4
사망	5×10^{-5}	10^{-4} 미만	5

② <표 7>을 기준으로 결과의 심각도에 따른 목표수준을 다른 영역까지 확장한 예는 <표 8>과 같다.

<표 8> 결과의 심각도에 따른 목표수준 (예)

목표 수준		결과			
연간 발생확률 또는 횟수	목표 수준	공장내부 (On-site)	지역사회 (Off-site)	환경영향	손실비용 (단위: 원)
1×E-03	3	경상 (근로손실)	주민 불평신고	공정내에 제한, 1년 내에 복구되는 사고	1천만 이하
1×E-04	4	신체장해사고	근로자 건물내 대피 요청사고	주민 건물내 대피 요청사고	1천만~1억
1×E-05	5	1명 사망	주민 대피령 요청사고	지하수오염 사고	1억~10억
1×E-06	6	2 ~ 9명 사망	지역주민 경상	공정외부지역 정화 유발사고	10억~100억
1×E-07	7	10 ~ 50명 사망	심각한 지역주민의 신체장해 사고	중대한 환경오염	100억~1000억
1*E-08	8	51 ~ 100명 사망	지역주민 1명 사망	심각한 환경오염	1,000억~1조
1×E-09	9	대재난 수준 (100명이상 사망)	지역주민 다수 사망	대재난 수준	1조 이상

(디) 화학물질 종류별 누출량 기준

① 화학물질의 종류별 누출량을 기준으로 목표수준을 결정할 수 있다.

② 화학물질의 종류별 누출량 기준으로 목표수준을 결정한 예는 <표 9>와 같다.

③ <표 9>의 화학물질등급은 <표 10>과 같이 비점 및 독성등급에 따라 구분된다.

④ <표 10>의 화학물질 독성등급은 ERPG-3 값을 기준으로 구분한다. ERPG-3의 값은 KOSHA GUIDE C-C-46-2026 「화학물질폭로영향지수(CEI) 산정에 관한 기술지원규정」을 참고하여 구한다.

<표 9> 화학물질 종류별 누출량에 따른 목표수준 (예)

물질종류 (비점과 독성기준)	화학물질 종류별 누출량에 따른 목표수준					
	누출량(단위: kg)					
	5 미만	5~50미만	50~500미만	500~5천미만	5천~5만미만	5만 초과
	누출 부위 크기(Leak point size)					
	핀홀 (Pinhole)	씰(Seal) 누설	12.5 mm 핀홀	25 mm 핀홀	50~100 mm 핀홀	지름 100 mm 초과
A 등급물질	5	6	7	8	8	9
B 등급물질	4	5	6	7	8	8
C 등급물질	3	4	5	6	7	7
D 등급물질	-	3	4	5	6	6
E 등급물질	-	-	3	4	4	5

<표 10> 비점에 따른 독성물질 등급 기준

독성물질 종류	독성등급별 비점 (B.P) 구분(독성등급: ERPG-3 기준)			
	5 ppm 이하	5 ~100 ppm	100~1,000 ppm	1,000 ppm초과
A 등급물질	30 ℃ 미만	-	-	-
B 등급물질	30 ~ 60 ℃	30 ℃ 미만	-	-
C 등급물질	60 ~ 150 ℃	30 ~ 60 ℃	30 ℃ 미만	-
D 등급물질	150 ℃ 초과	60 ~ 150 ℃	30 ~ 60 ℃	30 ℃ 미만
E 등급물질	-	150 ℃ 초과	60 ~ 150 ℃	30 ~ 60 ℃

(3) 원인 발생확률 환산점수 결정

(가) 원인(위협)의 발생확률은 자료를 통해 수집한다.

(나) <별표 1>은 원인에 대한 발생확률 환산점수의 예이다. 다른 정확한 확률값을 모를 경우 이 자료를 사용한다.

(4) 점화확률 환산점수 결정

(가) 시나리오의 최종 결과가 화재를 수반할 경우 점화원인 및 사용물질에 따라 점화확률 환산점수를 구한다.

(나) <표 11>은 사용물질 및 점화원인에 대한 점화확률 환산점수의 예이다. 다른 정확한 확률값을 모를 경우 이 자료를 사용한다.

<표 11> 점화확률 환산점수

적용하는 경우	점화확률 환산점수
화재와 관련되지 않은 경우	0
누출물질이 수소, 아세틸렌, 에틸렌 옥사이드, 프로필렌 옥사이드 또는 부타디엔인 경우	1
누출물질이 다른 탄화수소인 경우	2
점화원이 낙뢰인 경우	3

(5) 예방대책 및 감소대책의 독립방호계층 성능점수 결정

(가) 각각의 예방대책 및 감소대책에 대해 5.3.3 (6)항에 따라 해당 대책이 독립방호계층(IPL)인지 여부를 확인한다.

(나) <별표 2>는 독립방호계층의 방호계층 성능점수의 예이다. 다른 정확한 확률값을 모를 경우 이 자료를 사용한다.

(다) “공장설계”에 대한 방호계층 성능점수는 <별표 2>에 따라 선정한다.

(라) <별표 2>에서 안전밸브(파열판)가 방호계층으로 인정되기 위해서는 <별표 3>에서 요구하는 모든 조건을 만족하여야 한다. <별표 3>에서 하나의 항목이라도 낮은 점수를 받을 경우 안전밸브(파열판)의 성능점수는 그 낮은 점수를 따른다.

(마) <별표 2> 이외의 방호장치(방호조치) 또는 활동에 대한 성능점수를 부여하고자 할 경우에는 <별표 4>의 “설비 또는 활동별 방호계층에 대한 성능점수”를 사용할 수 있다. 그러나 이 성능점수를 사용할 경우에는 매우 보수적인 관점이 필요하다.

(바) <별표 2> 및 <별표 4>에 포함되지 않은 방호계층에 대해 성능점수를 부여하고자 할 경우에는 5.3.3 (6)항의 독립방호계층의 인정기준에 적합한지를 검토하고, <별표 2> 및 <별표 4>에 제시된 항목들의 성능점수와 비교해서 유사한 수준으로 부여한다. 이 경우에도 매우 보수적인 관점이 필요하다.

(6) 독립방호계층(IPL)의 인정기준

(가) 독립방호계층은 사건의 발생이나 다른 방호장치의 성능과 상관없이 불안전한 시나리오가 진행되는 것을 막는 방호장치 또는 방호조치이므로 설비, 시스템 또는 시정조치 내용이 독립방호계층이 되기 위해서는 아래와 같은 유효성과 독립성과 검증성이 만족되어야 한다.

① 유효성이란 그것이 설계된 대로 작동될 때 결과를 예방할 수 있는 것을 말한다.

② 독립성이란 동일 시나리오에 대해 이미 요구된 다른 독립방호장치의 성분이나 발생 사건에 독립적이어야 함을 한다.

③ 검증성이란 독립방호장치의 설계, 설치, 기능시험 및 정비 시스템이 해당 방호장치의 기능 유지를 검증해야 함을 말한다.

(나) 기본공정제어시스템(BPCS)과 경보장치(Alarm)를 독립방호계층으로 인정하고자 할 때는 다음의 사항을 고려해야 한다.

① BPCS의 고장이 사상의 원인이 될 때에는 BPCS와 경보장치가 완전히 분리된 시스템이 아니면 BPCS 및 경보장치는 IPL로 인정될 수 없다.

② BPCS 및 경보장치가 같은 센서를 사용하면, 단지 하나의 IPL만 인정된다.

③ 경보장치가 IPL이 되기 위해서는 운전원의 적절한 조치가 필수적이다. 따라서 충분히 훈련된 운전원이 조치하여야 한다.

④ 센서 고장이 사상의 원인이면, 고장난 센서와 관련된 BPCS 및 경보장치는 IPL로 인정될 수 없다.

⑤ 최종제어요소의 고장이 사상의 원인이면, BPCS 및 경보장치에 대한 운전원의 조작이 고장된 최종제어요소를 동작시키는 것이라면 IPL로 인정될 수 없다.

⑥ BPCS의 논리해결기가 사상의 원인일 때, 경보장치가 완전히 분리된 시스템이 아니면, BPCS 및 경보장치는 IPL로 인정될 수 없다.

⑦ 경보장치가 IPL이 되려면, 운전원은 시나리오의 진행을 막을 적절한 시간을 가져야 한다.

⑧ 하나의 경우에 대해 단지 하나의 BPCS와 하나의 경보장치만 허용된다.

⑨ BPCS와 SIS(안전계장시스템)가 서로 같은 요소(센서 등)를 공유할 경우에는 적절한 독립성이 보장될 때만 각각 IPL로 인정될 수 있다.

⑩ 과속 트립장치와 같은 기계적 안전장치는 계기적인 IPL은 아니지만, IPL로 고려될 수 있다.

(다) 일반적인 독립방호계층의 인정기준의 예는 <별표 5>와 같다.

(라) 일반적으로 독립방호계층으로 인정되지 않는 예는 <별표 6>과 같다.

(7) 안전계장시스템과 성능점수

(가) 안전계장시스템은 현재의 방호계층이 충분하지 않는 경우 적용한다.

(나) 안전계장시스템의 요구조건과 안전무결성등급에 대한 성능점수는 <표 12>와 같다.

<표 12> 안전계장시스템(SIS)의 요구조건과 안전무결성등급(SIL)

안전계장시스템(SIS)의 요구 조건	안전무결성수준 (SIL)	연간 고장확률 (PFD)	방호계층 성능점수
한 개의 센서, 논리 해결기 및 최종제어요소(구동기)로 구성된 SIS	SIL 1	10^{-1} ~ 10^{-2}	1
복수의 센서, 복수의 논리 채널 및 복수의 최종제어요소(구동기)로 구성된 SIS	SIL 2	10^{-2} ~ 10^{-3}	2
복수의 센서, 복수의 논리 채널 및 복수의 최종제어요소(구동기)로 구성된 SIS (주의 깊은 설계와 빈번한 시험 요구)	SIL 3	10^{-3} ~ 10^{-4}	3

(다) 이 규정에서는 안전계장시스템을 적용할 경우 독립방호계층으로 SIL 3 까지만 인정된다.

(라) 기타 안전계장시스템과 관련된 자료들은 ANSI/ISA S84.01, IEC 61508 및 IEC 61511 등 안전무결성등급(SIL) 관련 자료를 참조한다.

5.5 반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표 사용

(1) 이 규정에서 사용하는 “반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(이하 “도표”라고 한다)”는 [별지서식3]과 같다.

(2) 도표에는 보우타이 선도(BTD), 예방대책 및 감소대책, 악화요소 및 악화요소 방지 대책, 반정량적 리스크 평가표 및 평가반 등의 항목이 포함된다.

(3) 도표에 사용되는 용어에 대한 개념과 사용방법은 아래와 같다.

(가) “사상”은 보우타이 선도(BTD)의 중심에 위치하며, 그 부분에는 예방하고자 하는 주 이유가 되는 사상을 기입한다. 화학물질과 관련된 경우에는 해당물질명도 함께 기입한다.

(나) “위협/원인”란에는 사상의 원인을 종류별로 기입한다.

(다) “T1 ~ Tn”은 위협/원인의 번호를 나타내며, 그 아래 칸에는 해당 원인의 발생 확률에 대한 환산점수를 기입한다. 환산점수는 <별표 1>을 참조한다.

(라) “결과”란에는 발생가능한 결과를 종류별로 기재한다.

(마) “C1 ~ Cn”은 시나리오의 최종 결과에 대한 번호를 나타내며, 그 아래 칸에는 결과의 심각도에 의한 목표수준을 기입한다. 목표수준은 <표 7, 8, 9>를 참조한다.

(바) “nPm”은 n번째 위협/원인에 대한 m번째 예방대책을 의미한다. 그 아래의 세 개의 칸 중 첫 번째 칸에는 해당대책이 기존대책인지 또는 신규대책인지를 표시한다. 둘 째 및 세 째 칸에는 해당대책에 대한 악화요소가 있을 경우 표시한다. E1은 첫 번째 악화요소이고, E2는 두 번째 악화요소를 말한다. 만약 예방대책이 복수의 위협/원인에 대해 공통적인 대책일 경우에는 원인에 대한 번호를 생략하고 단순히 대책번호(예, Pm)만 표시한다.

① <표 13>는 예방대책에 대한 기호의 의미를 보여주는 예이다.

<표 13> 예방대책 기호의 예

1P3		
신규	E1	E2

1P3 : 원인 1에 대한 세 번째 예방대책
신규 : 신규대책
E1 : 악화요소 1
E2 : 악화요소 2

② <표 14>은 도표에 표시된 예방대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당 대책의 기존 또는 신규 여부, 예방대책의 종류, 독립방호계층(IPL) 여부, 해당 방호계층의 성능점수, 신규대책일 경우 담당과 조치기한 및 완료 여부, 해당대책과 관련된 사항(절차 등)이 포함된다.

<표 14> 예방대책에 대한 확인 항목의 예

No	상태	예방대책	IPL	점수	담당	기한	관련사항(절차 등)	완료
1P1	기존	안전밸브 설치	Yes	2	-	-	안전밸브 관리 절차	-
1P2	신규	고압경보장치 설치	Yes	1	ooo	00.00	안전운전절차 반영	
1P3								

(사) “nMm”은 n번째 결과에 대한 m번째 감소대책을 의미한다. 감소대책과 관련된 기호는 예방대책의 기호와 동일하게 적용된다.

① <표 15>는 감소대책에 대한 기호의 의미를 보여주는 예이다.

<표 15> 감소대책 기호의 예

2M2 신규 | E1 | E2	2M2 : 결과 2에 대한 두 번째 감소대책 신규 : 신규대책 E1 : 악화요소 1 E2 : 악화요소 2

② <표 16>는 도표에 표시된 감소대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당 대책의 기존 또는 신규 여부, 감소대책의 종류, 독립방호계층(IPL) 여부, 해당 방호계층의 성능점수, 신규대책일 경우 담당과 조치기한 및 완료 여부, 해당대책과 관련된 사항(절차 등)이 포함된다.

<표 16> 감소대책에 대한 확인 항목의 예

No	상태	감소대책	IPL	점수	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1M1	기존	방유둑 설치	Yes	2	-	-	저장탱크 점검	-
1M2	신규	가스누설감지기 설치	Yes	1	ooo	00.00	감지기 점검 절차	

(아) “nPmEk”는 n번째 위협/원인에 대한 m번째 예방대책에 영향을 미치는 k번째 악화요소를 의미한다. 예를 들면, 1P1E1은 원인 1의 예방대책 1에 영향을 미치는 첫 번째 악화요소를 말한다.

① <표 17>은 예방대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예이다. 확인 항목에는 악화요소 및 방지대책, 담당과 조치기한 및 완료 여부가 포함된다.

<표 17> 예방대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예

No	악화요소(Escalation factor)	악화요소 방지대책	담당	기한	완료
1P1E1	안전밸브 전단에 차단밸브 설치	차단밸브 Lock open 관리	OOO	00.00	

② 악화요소가 모두 조치되어야 해당대책의 방호계층 성능점수가 인정된다.

(자) “nMmEk”는 n번째 결과에 대한 m번째 감소대책에 영향을 미치는 k번째 악화요소를 의미한다. 이것은 감소대책에 사용되는 악화요소의 개념과 동일하게 적용된다.

① <표 18>은 감소대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예이다. 확인 항목에는 악화요소 및 방지대책, 담당과 조치기한 및 완료 여부가 포함된다.

<표 18> 감소대책에 대한 악화요소 확인 항목의 예

No	악화요소(Escalation factor)	악화요소 방지대책	담당	기한	완료
1M1E1	드레인 밸브 개방	저장탱크 관리 절차에 반영	OOO	00.00	완료
1M2E1	가스감지기 테스트 미실시	절차서에 감지기 테스트 주기 반영	OOO	00.00	

② 악화요소가 모두 조치되어야 해당대책의 방호계층 성능점수가 인정된다.

(차) 시나리오 행로 : 하나의 위협/원인이 사상을 통해 결과로 이어지는 행로를 의미한다. 예를 들면, T1-C2는 위협/원인 T1에서 사상을 거쳐 결과 C2로 이어지는 행로를 말한다.

(카) 반정량적 리스크 평가에 사용되는 사항은 <표 19>과 같다.

① 해당 시나리오에 대한 목표수준, 발생확률 환산점수, 점화확률 환산점수, 예방 및 감소대책의 독립방호계층 성능점수를 <표 19>에 기입하여 대책(방호계층)의 적정성 평가를 실시한다.

② 목표수준에 비해 나머지 항목들의 합계가 작을 경우 추가적인 대책을 수립하여 평가를 반복한다.

③ 안전계장시스템(SIS)의 적용은 다른 대책들이 적절하지 않을 경우 선택한다.

<표 19> 반정량적 리스크 평가의 예

시나리오 행로 (원인-결과)	목표수준 (A)	발생확률 환산점수 (B)	점화확률 환산점수 (C)	예방대책 (IPL)											감소대책 (IPL)								적정성평가	
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		공장설계	SIS-SIL		소계 (D)	M1	M2	M3	M4	M5	M6		소계 (E)	A-(B+C+D+E) :	
													SIL 1											값	If 값≤0, OK
T1-C1	6	1	-	1	2								1		3	1							1	0	OK

(타) 리스크 평가팀과 평가일자 등을 기입하고 평가 결과를 정리한다.

6. HAZOP 결과서를 이용한 반정량적 리스크 평가

6.1 리스크 평가 대상 선정

운전과 위험분석 기법(HAZOP) 실시 결과 중 심각도가 높은 시나리오를 선택한다.

6.2 방호계층분석을 위한 자료 수집

(1) 반정량적 보우타이 리스크 평가에 사용되는 모든 관련 자료를 사용한다.

(2) 필요 시 추가적인 자료를 수집한다.

6.3 HAZOP 결과서 변경

반정량적 리스크 평가를 위해서는 HAZOP 결과서에 발생확률 환산점수, 점화원인 및 점화확률 환산점수, 결과의 목표수준, 방호계층 성능점수, 적정성평가 항목을 <표 20>과 같이 추가한다.

<표 20> HAZOP 결과서를 이용한 반정량적 리스크 평가표의 예

<table>
<tr><td colspan="3">공 정 명 :</td><td colspan="9" rowspan="3">HAZOP 결과서를 이용한 반정량적 리스크 평가표</td><td colspan="3">수행자 :</td></tr>
<tr><td colspan="3">도면번호 :</td><td colspan="3">평가일 :</td></tr>
<tr><td colspan="3">구 간 :</td><td colspan="3">페이지 :</td></tr>
<tr><td rowspan="2">이탈번호</td><td rowspan="2">이탈내용</td><td colspan="2">원인</td><td colspan="2">점화확률
(화재 시 적용)</td><td colspan="2">결과</td><td colspan="3">안전조치 (방호대책)</td><td>적정성 평가</td><td rowspan="2">담당</td><td rowspan="2">조치기한</td><td rowspan="2">완료확인</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>발생확률 환산점수 (A)</td><td>점화원인</td><td>환산점수 (B)</td><td>내용</td><td>목표수준 (C)</td><td>기존/신규</td><td>내용</td><td>방호계층 성능점수 (D)</td><td>If (A+B+D) ≥C, 적정</td></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">별표1 사용</td><td rowspan="6">표 11 사용</td><td rowspan="6">표 11 사용</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">표 7,8,9 사용</td><td>기존</td><td></td><td rowspan="2">별표2,3,4 5,6 사용</td><td rowspan="6"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기존</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기존</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>신규</td><td>PI</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>신규</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>…</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>공통</td><td>HAZOP</td><td>공통</td><td>추가</td><td>추가</td><td>추가</td><td>공통</td><td>추가</td><td>공통</td><td>공통</td><td>추가</td><td>추가</td><td>공통</td><td>공통</td><td>공통</td></tr>
</table>

6.4 리스크 평가 실시

(1) <표 20>의 공통 사항 이외의 “추가”로 표시한 부분은 5항에서 제시한 자료를 기준으로 발생확률 환산점수, 점화확률 환산점수, 목표수준, 방호계층 성능점수를 파악한다.

(2) 목표수준과 발생확률 환산점수, 점화확률 환산점수 및 방호계층 성능점수의 합계와 비교하여 적정성 평가를 실시한다. 목표수준보다 합계점수가 부족하면 추가로 대책을 수립하여 상기 사항을 반복한다.

(3) 도표를 사용하는 리스크 평가에 대한 예는 [붙임 1]과 같다.

7. 후속조치

7.1 일반사항

(1) 추가적인 대책에 대해서는 해당대책이 기한 내에 수행되도록 추적관리한다.

(2) 추가적인 대책 및 악화요소 방지대책 등에 대해서는 관련 도면 또는 운전절차서 등에 반영하여야 한다.

(3) 추적관리를 위해 [별지서식3]을 사용하여 대책의 실행여부를 확인할 수 있다.

7.2 기록 관리

리스크 평가가 완료된 후에는 아래 사항을 포함한 결과서를 절차에 따라 관리하여야 한다.

(1) 팀 리더 및 구성원 인적사항(별지서식1)

(2) 리스크 평가 대상 리스트(별지서식2)

(3) 정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(별지서식3)

(4) 반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(별지서식4)

(5) 조치계획(별지서식5)

(6) 기타 공정 및 평가에 대한 참고사항

(가) 사고발생 또는 아차사고 발생 시 과거 보우타이 분석 결과와 비교하여 어떤 방호 대책이 실패했는지, 예측하지 못한 원인이나 악화요소는 없었는지 분석하는 도구로 활용할 수 있다.

(나) 변경 관리(MOC)에 절차에 따라 설비, 절차, 인력 변경 시 해당 변경 사항이 보우타이 다이어그램의 어떤 요소(원인, 결과, 방호 대책)에 영향을 미치는지 검토하고, 필요시 다이어그램을 수정·보완한다.

[별지서식1]

팀 리더 및 구성원 인적사항

구 분	성 명	학력 및 전공	경 력	비 고

※ 구분란에는 팀 리더, 담당분야(운전, 안전, 기계정비, 계장, 전기, 생산, 외부전문가 등)을 기입한다.

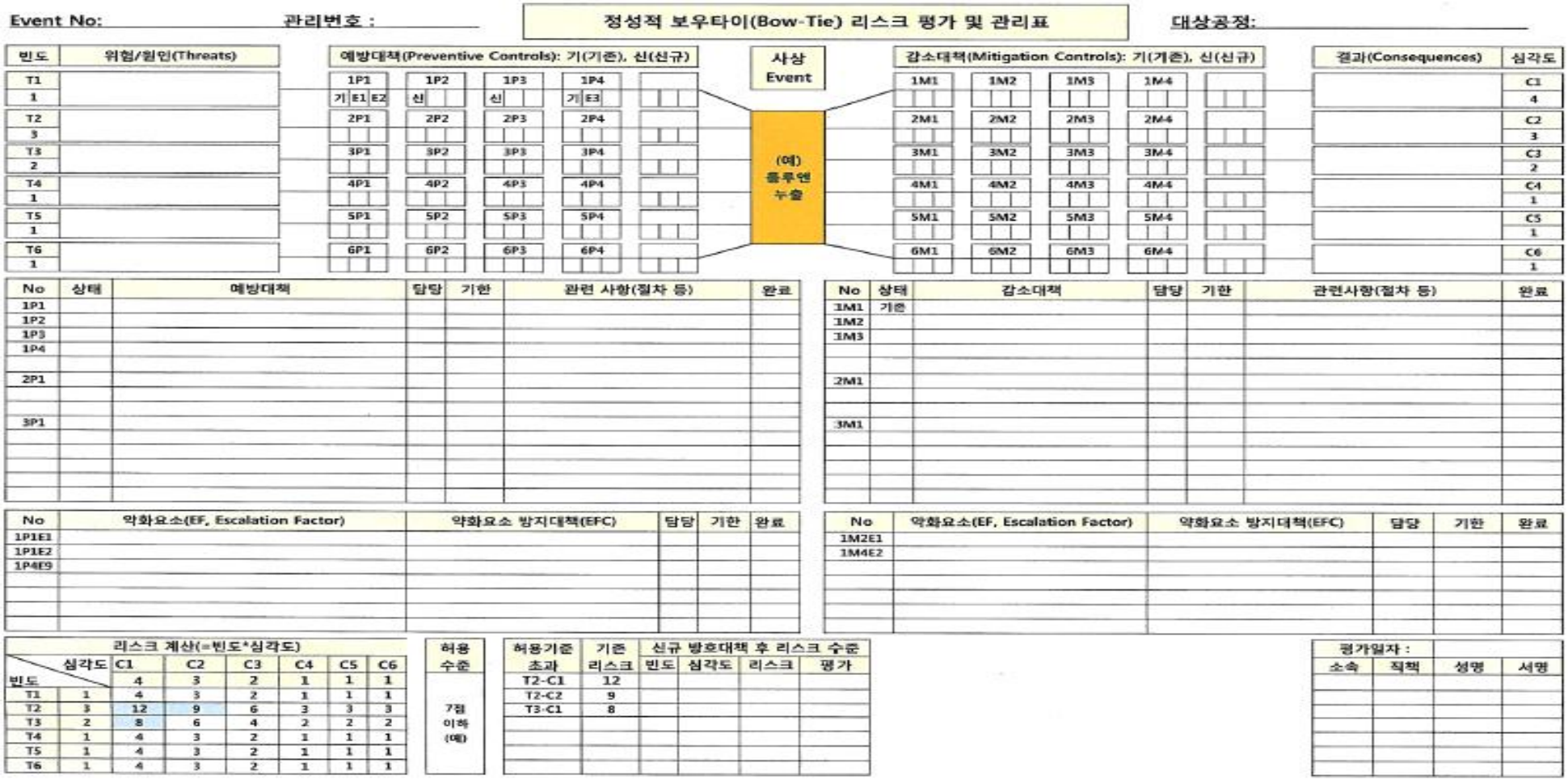
[별지서식2]

리스크 평가 대상 리스트

대상공정 또는 장소		설비명 또는 작업명		사상(Event)의 종류		관련 도면	비 고
번호	명칭	번호	명칭	번호	사상 설명		

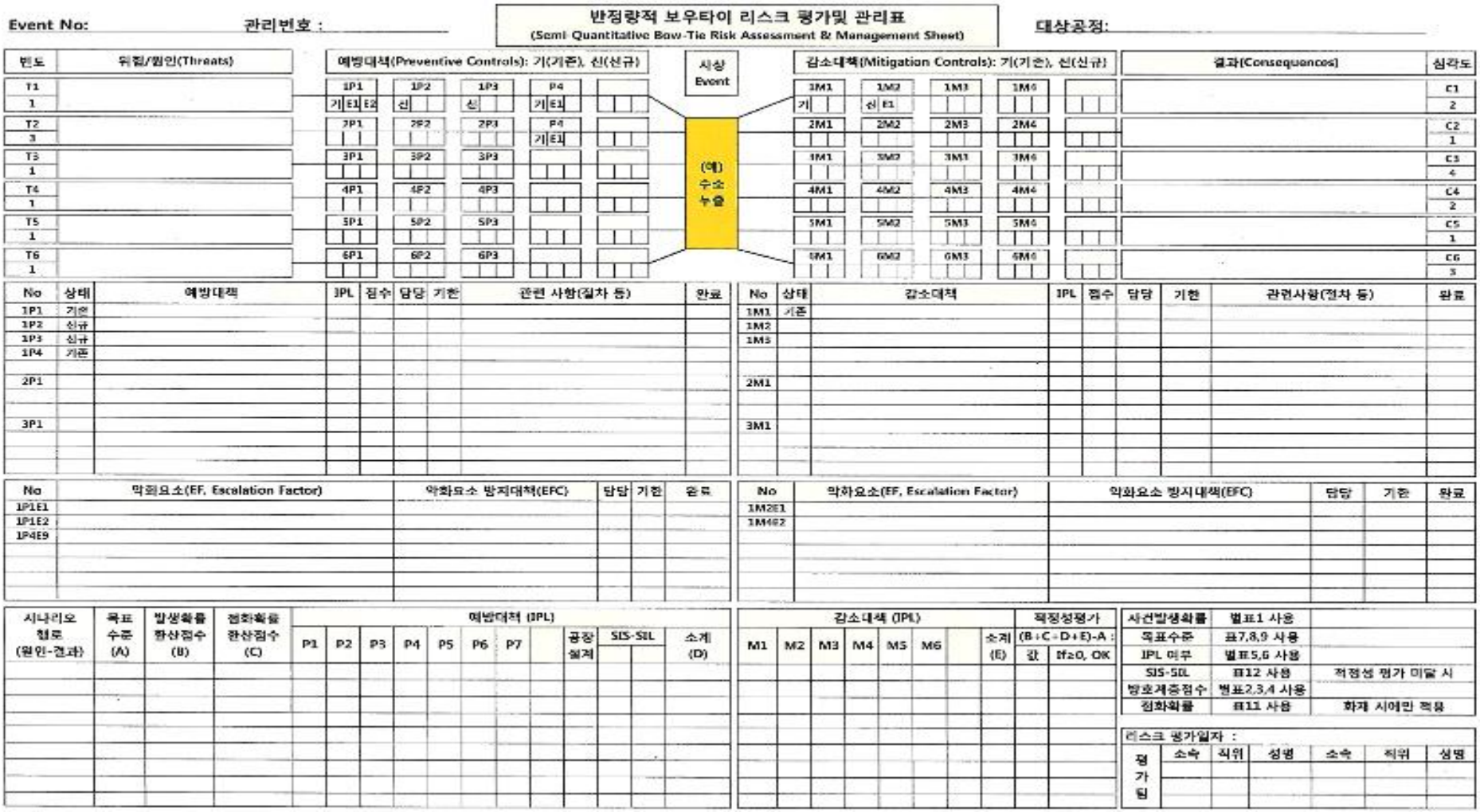
[별지서식3]

정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표



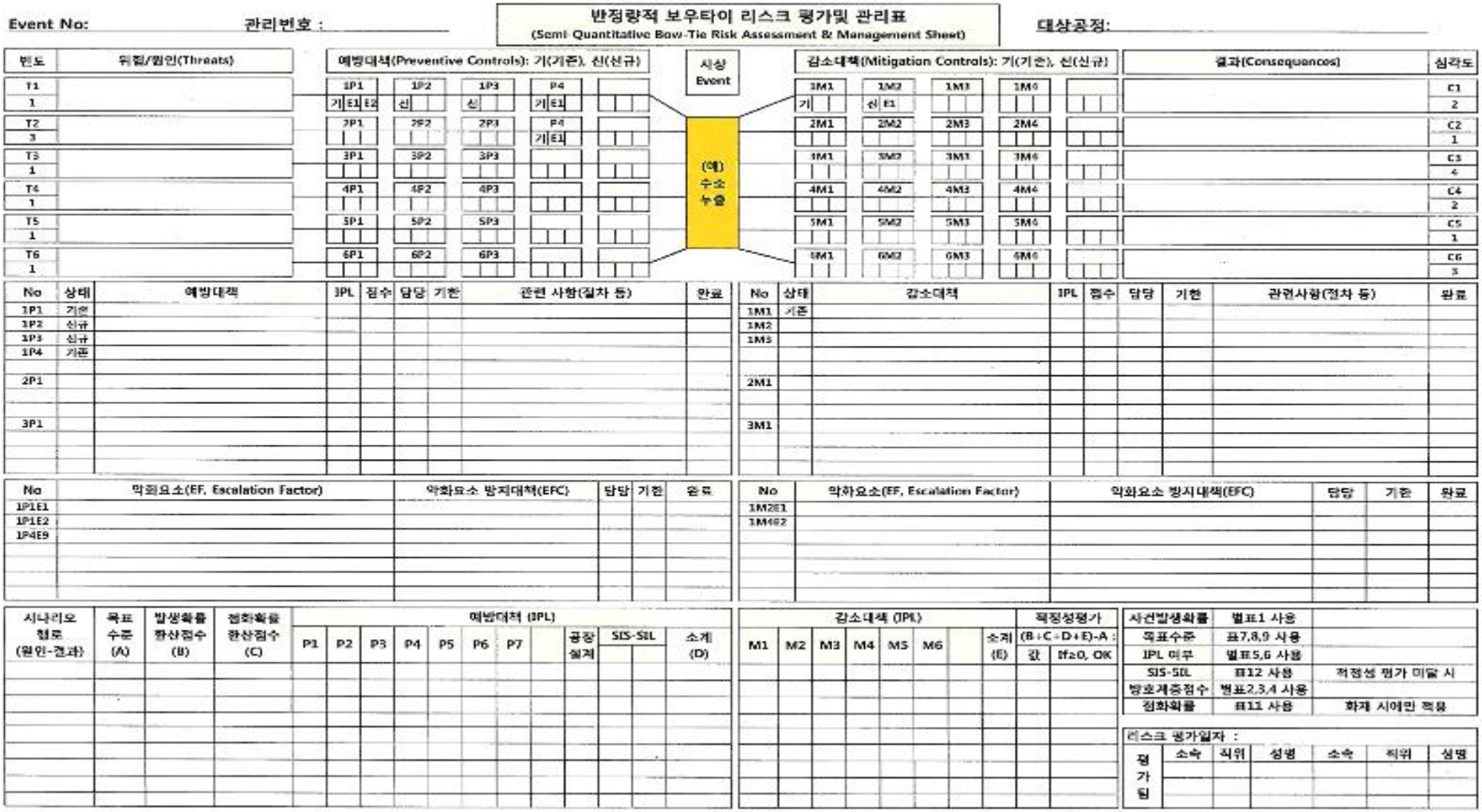
[별지서식4]

반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표



[별지서식5]

반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표



[별지서식5]

조 치 계 획

번호	이탈번호	안전조치(대책)	담당	조치 기한	조치완료 확인			
					시설 완료	도면 반영	절차서 반영	교육 완료

<별표 1> 원인에 대한 발생확률 환산점수

사건 발생 원인의 종류	연간 발생 확률 또는 횟수	발생확률 환산점수	비고
BPCS (기본공정제어시스템: Basic Process Control System) 계기 루프 실패	1×E-01	1	
BPCS 단일 센서의 실패	1×E-01	1	
콘트롤밸브 실패 또는 압력조절기 실패	1×E-01	1	
BPCS 논리해결기(Logic Solver) 프로그램 수정에 기인한 실패	1×E-02	2	
운전원 실수(일상적인 업무, 하루 1회 실시)	1×E-00	0	
운전원 실수(잘 훈련되고 피로 및 스트레스가 없는 상태에서 일상적인 절차 수행, 분기 1회 이상 수행 시)	1×E-01	1	
운전원 실수(잘 훈련되고 피로 및 스트레스가 없는 상태에서 일상적인 절차 수행, 분기 1회 미만 수행 시)	1×E-02	2	
운전원 실수(비일상적 업무, 낮은 스트레스)	1×E-01/횟수	1	
운전원 실수(비일상적 업무, 높은 스트레스)	3×E-01/횟수	0	3건 이상/년
냉각수 공급 실패(표준 운전상태)	1×E-00	0	
냉각수 공급 실패(예비펌프 존재, 구동원 별개)	1×E-01	1	
계장용 에어 공급 실패	1×E-01	1	
질소 또는 불활성가스 시스템 실패	1×E-01	1	
크레인 권양물 낙하(연간 100회 권상 시)	1×E-04/횟수	2	
꼬리표 및 잠금장치 절차(LOTO) 실패 (연간 10건 수행 시)	1×E-03/횟수	2	
안전밸브(릴리프 밸브) 개방 실패	1×E-02	2	
밸브 실패-모타 구동 밸브(MOV)	3.6×E-01	1	
밸브 실패- 솔레노이드 밸브	3.6×E-01	1	
밸브 실패-에어 구동 밸브(AOV)	3.6×E-02	2	
체크밸브 개방 실패	3.6×E-02	2	
하역/상역 호스 실패	1×E-01	1	
낙뢰 사고	1×E-03	3	
정전 사고(표준 제어 상태)	1×E-00	0	
정전 사고(별도 전원 공급)	1×E-01	1	
상압탱크 실패	1×E-03	3	
용기로부터 누출(직경 2인치 이하)	1×E-03	3	
압력용기의 파열(손상기구 없을 경우)	1×E-06	6	
배관 실패-100m 전체 파열(손상기구 없을 경우)	1×E-05	5	
배관 누설 (10% 구간)-100 m 구간 중	1×E-03	3	
가스킷 및 패킹 이탈	1×E-02	2	
터빈/디젤엔진 과속(블레이드 손상으로 인한)	1×E-04	4	
차량, 중장비 등에 의한 외부 충돌	1×E-02	2	
펌프 실(Seal) 실패	1×E-01	1	
터빈 구동 콤프레샤 고장	1×E-00	0	
냉각 팬 또는 fin-fan 고장	1×E-01	1	
모타 구동 펌프 또는 회전기계 고장	1×E-01	1	
소규모 외부 화재(전체적 원인)	1×E-01	1	
대규모 외부 화재(전체적 원인)	1×E-02	2	

<별표 2> 독립방호계층(IPL)의 성능점수

독립방호계층(IPL)의 종류	고장확률 (PFD) 또는 횟수(연간)	성능점수	비고
국제적인 안전기준 이상으로 공장이 설계, 제조 및 유지되는 경우	1×E-02	2	매우 엄격한 기준 적용
국내 안전기준 이상으로 공장이 설계, 제조 및 유지되는 경우	1×E-01	1	안전보건경영시스템 도입 (보수적인 관점 유지)
압력방출장치(스프링작동 안전밸브)	1×E-02	2 (0, 1, 2)	별표 3 참조
파열판(안전밸브와 별도로 설치된 경우)	1×E-02	2 (0, 1, 2)	별표 3 참조
기본공정제어시스템(BPCS) (사건 원인이 아닐 경우)	1×E-01	1	압력, 유량, 온도 등의 제어시스템
방유둑 (Dike) 또는 수동적 방호장치	1×E-02	2	
지하 비상 배출 시스템	1×E-02	2	
개방된 벤트 라인(차단밸브가 없는 경우)	1×E-02	2	
내화설비-1시간인 경우	1×E-01	1	
내화설비-2시간 이상인 경우	1×E-02	2	
방폭벽 또는 벙커	1×E-03	3	
화염방지기(적절한 설계, 설치, 유지 시)	1×E-02	2	
용기의 설계압력이 예상 가능한 최대 내부/외부 압력의 2배 이상인 경우	1×E-04	4	압력용기의 과압이 원인인 경우
자동 Deluge/스프링클러 시스템	1×E-02	2	
자동 증기 감압 시스템	1×E-02	2	BPCS와 무관하게 작동
원격작동 비상차단밸브	1×E-01	1	
페일 세이프 기능의 자동 격리 밸브	1×E-02	2	
과류방지(Excess flow) 밸브	1×E-02	2	
동일 종류의 예비 설비	1×E-01	1	
다른 종류의 예비 설비	1×E-(01~02)	1, 2	공급업체의 고장률 확인
SIS(안전계장시스템) 또는 BPCS와 독립적인 내부의 기계적인 안전 트립 장치	1×E-(01~02)	1 ~ 2	공급업체의 확인 및 측정 주기에 의존함
내·외부의 과압 원인에 대한 최대 과압 이상으로 설계된 압력용기	1×E-04	4	압력용기의 과압이 원인인 경우
경보작동 및 평균적인 훈련을 받은 운전원의 조치(높은 스트레스 상태)	(0.5~1)×E-00	0	Start-up, Shut-down 등
경보작동 및 평균적인 훈련을 받은 운전원의 조치(낮은 스트레스 상태, 알려진 사건, 분기 1회 이상 수행업무)	1×E-01	1	조치하는데 10분 이하의 시간적 여유
경보작동 및 평균적인 훈련을 받은 운전원의 조치(낮은 스트레스 상태, 알려진 사건, 분기 1회 미만 수행업무)	1×E-02	2	조치하는데 10~30분의 시간적 여유
SIS - SIL 1	1×E-01	1	표 12 참조
SIS - SIL 2	1×E-02	2	표 12 참조
SIS - SIL 3	1×E-03	3	표 12 참조
기타 방호장치	경험 또는 공급업체의 자료를 참조하여 적절히 부여할 수 있음		

<별표 3> 안전밸브(또는 파열판)의 성능점수

순번	안전밸브(또는 파열판)의 설치 상태 확인 사항			독성물질 (2)		유해·위험 물질 (3)		기타 물질 (4)		물/수증기	
				액체	가스/증기	액체	가스/증기	액체	가스	물	증기
1	안전밸브 형식 및 사이즈의 적절성	적절함(설계근거 명확)		2							
		경험상 적절함		1	1	1	1	2	1	2	1
		적절하지 않음		0	0	0	0	1	0	1	0
2	정기적인 안전밸브 토출시험	실시 (기록 보존)		2							
		미실시	3년 미만	2							
			3년~9년	1							
			9년 초과	0							
3	안전밸브 전후단 차단밸브 관리	차단밸브 없음		2							
		잠금장치 사용	관리기준 있음	2							
			관리기준 없음	1							
		잠금장치 미사용		0							
4	안전밸브 배출물 처리현황	흡수/소각시설 등 연결	적합(방법 및 용량)	2							
			처리시설 용량 부족	1 (최종 토출측은 안전지역으로 연결된 경우)							
			처리방법 부적합	0							
		외부로 연결	안전지역 (6)	1	1	1	1	2	2	2	2
			기타	0	0	0	0	1	1	1	1
5	고착가능 물질의 토출측 자동배출 가능(6)	가능함 (Free Drain 구조)		2	2	2	2	2	2	2	2
		불가능	고착방지용 가열 등 조치	2	2	2	2	2	2	2	2
			주기적 점검 및 청소 실시	1	1	1	1	1	1	2	2
			주기적 점검 및 청소 미실시	0	0	0	0	0	1	2	2

[점수계산]: 하나의 안전밸브 중 5개 항목별로 가장 낮은 점수가 안전밸브의 성능점수가 된다. 즉, 모든 항목에서 2점을 받으면 그 안전밸브는 최고의 성능점수인 2점을 받게 되고, 만약 하나라도 0점을 받으면 그 안전밸브의 성능점수는 0점이 된다.

(1) 안전밸브는 해당 장치 또는 공정에서 요구하는 형식 및 크기를 만족하도록 설치해야 한다. 그렇지 않은 경우에는 적합성을 검토한 후에 다시 평가하는 것이 필요하다.
(2) 급성독성물질은 산업안전보건법 안전보건규칙 별표1에서 규정한 물질을 말한다.
(3) 유해·위험물질이란 산업안전보건법 안전보건규칙 별표1에서 규정한 물질(급성독성물질 제외)과 안전밸브 작동 시 증기상태로 배출되어 인체유해성과 화재위험성이 있는 물질을 말한다.
(4) 기타 물질이란 불활성 가스, 냉각유체 등으로 직접적인 인체유해성과 화재위험성이 없는 물질을 말한다. 다만 제한된 공간으로 배출시 질식 등의 위험을 가져오는 경우는 유해·위험물질로 분류한다.
(5) 소각 시 더 위험한 물질이 발생하는 등 현재의 기술로 처리가 곤란하거나, 또한 경제적으로 막대한 비용이 들어가는 경우에 안전지역으로 연결할 수 있다.
(6) 고착 가능성이 없는 모든 물질은 자동적으로 2점을 부여한다.

<별표 4> 설비 또는 활동별 대책에 대한 성능점수

위험기계의 방호장치 및 기타 방호조치 또는 대책	성능점수	방호대책으로 인정받기 위한 조건
위험기계기구별 법적 방호장치 (모두)	2	법적 기준 만족, 주기적인 적합한 검사/점검 수행, 작업 전 안전점검이 양호하게 수행되는 경우에 한함.
출입문 인터록장치	2 (1)	쉽게 해지할 수 있는 구조로 설치된 경우는 1점
고온부/동력전달부 덮개	2 (1)	안전보건경영시스템이 도입된 경우는 2점
경고 또는 주의 표지판 부착	0.5	안전보건경영시스템이 도입된 경우
운전원 조치 (경보장치가 없는 경우)	0.5	정확한 작업표준(절차)이 제정되어 있고, 운전원이 Log Sheet 등을 통해 시간대별로 확인하는 경우
운전원 조치 (경보장치가 없는 경우)	1	체크리스트에 의해 주기적으로 수집된 비정상 상태에 대한 조치: 체크리스트는 2년 이상 검증되어 운전원의 실행에 사용되고, 운전원은 이에 잘 훈련된 경우
화재시 비상 대응	0.5	주기적 훈련 및 소방시설이 정기적으로 점검되는 경우
전원충전부 방호조치	2	절연덮개가 잘 유지되는 경우에 한함
접지	2	주기적으로 접지저항이 측정되지 않는 경우는 1점
누전차단기	2	주기적으로 작동 테스트를 하지 않은 경우는 1점
과전류 또는 과전압 보호장치	1 ~ 2	공급업체의 데이터에 따라 조정
추락방지조치(안전난간대 등)	3	법적 기준을 만족하도록 설치된 경우
시어 핀 (Shear Pin)	2	과압 시 전단되는 방호장치, 안전밸브와 동일한 효과
전기, 전자적 센서에 의해 작동되는 방호장치	1 ~ 2	공급업체의 데이터에 따라 조정
보호구 착용	2	적합한 보호구 관리 기준이 있고, 필요한 현장에 보호구 착용 표지판이 부착되고, 미 착용시 엄격한 징계조치 시행할 경우에 한함. (보호구 착용은 최후의 수단으로 고려되어야 함)
보호구 착용	1	미 착용시에 엄격한 징계조치를 시행하지 않는 경우
정전작업시의 안전조치	2, 1	전기 스위치차단기에 잠금장치를 사용하는 경우에 한함. 꼬리표만 사용하는 경우는 1점 부여
운전절차 및 훈련	0.5	작업별 적합한 운전절차 또는 프로그램이 작성되어 있고, 필요한 훈련이 적합하게 수행되는 경우
위험작업시의 허가제도	2	해당 작업별 KOSHA Code에서 규정한 수준 이상의 허가제도를 도입하여 엄격하게 적용하는 경우에 한함.
국소배기장치 설치	2	법적기준을 만족하도록 설치되고, 유지되는 경우

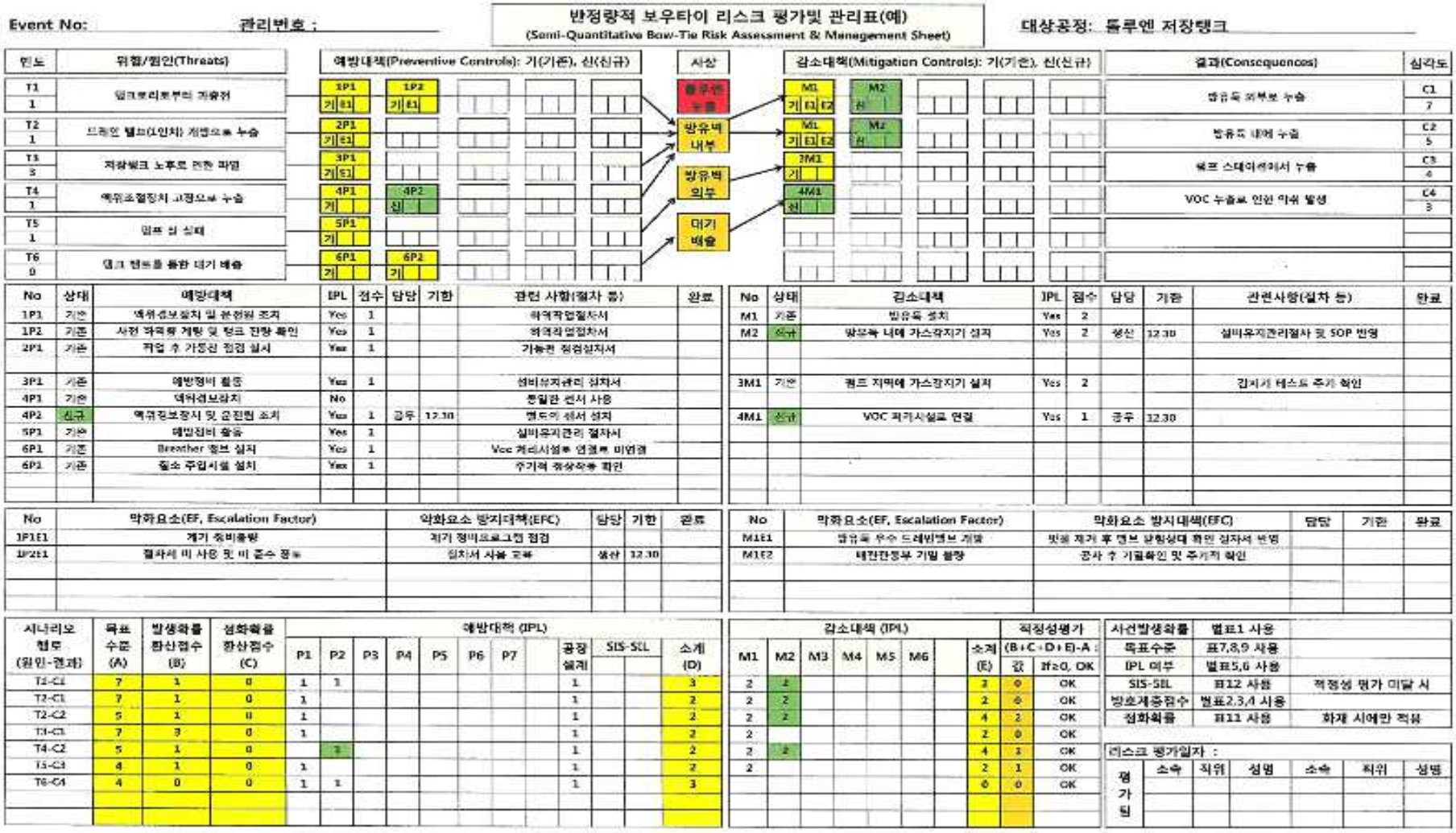
<별표 5> 독립방호계층(IPL)의 인정기준 예

구 분	독립방호계층의 인정기준
공정설계	o 본질안전설계 시 IPL임
BPCS (기본공정제어시스템)	o 공정이 안전운전 범위에서 유지되도록 설계된 BPCS는 IPL임. o BPCS의 제어 루프는 정상 작동이 요구됨. o 운전원의 실수를 방지하기 위한 접근 통제 및 보안시스템의 유효성에 대한 평가가 필요함.
경보장치와 운전원 조치	o 경보장치는 BPCS에 의해 작동되어야 함. o 경보 또는 감시에 의한 운전원의 조치는 독립성이 만족될 때 IPL로 인정됨. o 절차와 훈련은 그 자체로는 IPL이 아님.
안전계장시스템(SIS)	o SIS는 기능적으로 BPCS와 독립이며, 일반적으로 IPL임.
물리적 방호장치 (안전밸브, 파열판 등)	o 적절히 설계되고 유지 관리되면 IPL임. o 전·후단에 차단밸브가 없어야 하고, 주기적인 검사 및 점검(토출시험 포함)을 해야 하고, 토출위치 및 처리방법이 적정해야 함.
누출 후 물리적 방호장치 (방유벽, 방폭벽 등)	o 올바르게 설계 및 유지되면 높은 수준의 IPL임. o 또한 자동 Deluge 시스템, 폼 시스템 또는 가스감지 시스템 등은 특정한 시나리오에 대해 IPL로 인정될 수 있음.
사업장 비상대응 (Plant Emergency Response)	o 소방대, 수동 소방시스템, 대피소 등은 일반적으로 IPL이 아님. o 초기 누출 이후에 작동되고, 시나리오를 완화시키는데 관련되는 변수가 많음(시간 지연 등)
지역사회 비상대응 (Community Emergency Response)	o 지역사회 피난 및 대피소를 포함하는 대책은 일반적으로 IPL이 아님. o 초기 누출 이후에 작동되고, 시나리오를 완화시키는데 관련되는 변수가 많음(시간 지연 등)

<별표 6> 독립방호계층(IPL)으로 인정되지 않는 예

구 분	독립방호계층과의 관련 사항
훈련 및 자격	o IPL은 아니나, 운전원 대응에 대한 실패확률에 영향을 미침
절차서	o IPL은 아니나, 운전원 대응에 대한 실패확률에 영향을 미침
일상적인 시험과 검사	o IPL은 아니나, 특정한 IPL의 실패확률에 영향을 미침
정비	o IPL은 아니나, 특정한 IPL의 실패확률에 영향을 미침
의사소통	o IPL은 아니나, 특정한 IPL의 실패확률에 영향을 미침
표지(Signs)	o 표지는 불분명하고, 모호하고, 무시가능. o IPL은 아니나, 특정한 IPL의 실패확률에 영향을 미침
소방시설 (경우에 따라 IPL로 인정 또는 불인정됨)	o 능동적인 소방시설(사람에 의해 작동)은 IPL이 아님. o 만약 플라스틱 배관 또는 부서지기 쉬운 스위치 등에 의해 작동된다면 IPL로 인정가능. o 피해결과를 감소시키는 시나리오에 대해 IPL로 인정 가능. o 내화시설은 적절히 설계 및 유지된다면, 특정 시나리오의 IPL임

[붙임 1] 반정량적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(예)



Event No: 관리번호 :

반정량적 보우타이 리스크 평가및 관리표(예)
(Semi-Quantitative Bow-Tie Risk Assessment & Management Sheet)

대상공정: 톨루엔 저장탱크

번호	위협/원인(Threats)
T1 1	탱크로리로부터 과충전
T2 1	드레인 밸브(1인치) 개방으로 누출
T3 5	저장탱크 노후로 인한 파열
T4 1	액위조절장치 고장으로 누출
T5 1	펌프 씰 실패
T6 0	탱크 밴트를 통한 대기 배출

예방대책(Preventive Controls): 기(기존), 신(신규)					
1P1 기 E1	1P2 기 E1				
2P1 기 E1					
3P1 기 S1					
4P1 기	4P2 신				
5P1 기					
6P1 기	6P2 기				

사상
톨루엔 누출
방유벽 내부
방유벽 외부
대기 배출

감소대책(Mitigation Controls): 기(기존), 신(신규)					
M1 기 E1 E2	M2 신				
M1 기 E1 E2	M2 신				
3M1 기					
4M1 신					

결과(Consequences)	심각도
방유벽 외부로 누출	C1 7
방유벽 내에 누출	C2 5
펌프 스테이션에서 누출	C3 4
VOC 누출로 인한 악취 발생	C4 3

No	상태	예방대책	IPL	점수	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1P1	기존	액위경보장치 및 관련원 조치	Yes	1			하역작업절차서	
1P2	기존	사전 작업량 계량 및 탱크 잔량 확인	Yes	1			하역작업절차서	
2P1	기존	작업 후 가동전 점검 실시	Yes	1			가동전 점검실시서	
3P1	기존	예방정비 활동	Yes	1			설비유지관리 절차서	
4P1	기존	액위경보장치	No				운일관 센서 사용	
4P2	신규	액위경보장치 및 감전원 조치	Yes	1	공두	12.30	밴드의 센서 설치	
5P1	기존	예방정비 활동	Yes	1			설비유지관리 절차서	
6P1	기존	Breather 밸브 설치	Yes	1			Vcc 제어시설로 연결로 미연결	
6P1	기존	질소 주입시설 설치	Yes	1			주기적 작상작동 확인	

No	상태	감소대책	IPL	점수	담당	기한	관련사항(절차 등)	완료
M1	기존	방유벽 설치	Yes	2				
M2	신규	방유벽 내에 가스감지기 설치	Yes	2	생산	12.30	설비유지관리절차 및 SOP 반영	
3M1	기존	펌프 지역에 가스감지기 설치	Yes	2			감지기 테스트 주기 확인	
4M1	신규	VOC 제거시설로 연결	Yes	1	공두	12.30		

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
1P1E1	계기 고장/오동작	계기 정비프로그램 점검			
1P2E1	절차서 미 사용 및 미 준수 경우	절차서 사용 교육	생산	12.30	

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
M1E1	방유벽 우수 드레인밸브 개방	빗물 제거 후 밸브 닫힘상태 확인 절차서 반영			
M1E2	배관감동부 기밀 불량	공사 후 기밀확인 및 주기적 확인			

시나리오 헤무 (원인-결과)	목표 수준 (A)	발생확률 환산점수 (B)	심화확률 환산점수 (C)	예방대책 (IPL) P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	공정 설계	SIS-SIL		소계 (D)
T2-C1	7	1	0	1	1						1			3
T2-C1	7	1	0	1							1			2
T2-C2	5	1	0	1							1			2
T3-C3	7	3	0	1							1			2
T4-C2	5	1	0		1						1			2
T5-C4	4	1	0	1							1			2
T6-C4	4	0	0	1	1						1			3

감소대책 (IPL) M1	M2	M3	M4	M5	M6	소계 (E)	적정성평가 (B+C+D+E)-A : 값	If≥0, OK
2	2					2	0	OK
2	2					2	0	OK
2	2					4	2	OK
2						2	0	OK
2	2					4	1	OK
2						2	1	OK
						0	0	OK

사건발생확률	별표1 사용	
목표수준	표7,8,9 사용	
IPL 여부	별표5,6 사용	
SIS-SIL	표12 사용	적정성 평가 미달 시
방호계층점수	별표2,3,4 사용	
심화확률	표11 사용	화재 시에만 적용

리스크 평가일자 :

평가팀	소속	직위	성명	소속	직위	성명

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 개정사유 : 보우타이 기법 관련 KOSHA Guide 통·폐합

관리번호	기술지원규정명	정비유형
A-R-3-2026	보우타이(Bow-Tie) 리스크평가 기법에 관한 기술지원규정	통폐합(개정)
X-39-2011	정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침	통폐합(폐지)
X-40-2011	반정량적(Semi-quantitative) 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침	

○ 주요 개정내용

- “보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가” 본문내용 중 유사·중복되는 부분 삭제
- 관련 법령, 참고 가이드 등 현행화
- 통합에 따른 순서 변경으로 번호 수정

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : A-R-3-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.