

KOSHA GUIDE

X - 39 - 2011

정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침

2011. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 한국산업안전보건공단 조 필래

○ 제·개정 경과

- 2011년 11월 리스크관리분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- 보우-타이(Bow-Tie) 위험성평가 기법, pp74-79, 2009 한국안전학회 추계학술대회 논문집
- KOSHA Guide X-13-2010(중소규모 사업장의 리스크 평가 관련 유해위험요인 분류를 위한 기술지침)
- KOSHA Guide P-8-2009(위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정가이드)
- KOSHA Guide X-1-2011(리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침)
- KOSHA Guide X-2-2010(리스크 관리 절차에 관한 지침)
- KOSHA Guide X-3-2010(리스크 평가 절차에 관한 지침)
- KOSHA Guide X-19-2010(리스크 분석방법에 관한 지침)

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건법 제5조(사업주의 의무 중 사업장의 유해위험요인 실태 파악 및 평가)

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2011년 12월 26일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건법(이하 “법”이라 한다) 제5조에서 규정하고 있는 사업주의 의무사항인 사업장의 유해위험요인에 대한 실태를 파악하고 이를 평가하여 관리·개선하는 것을 돕기 위한 정성적 보우 타이 리스크 평가 기법에 관한 사항을 정하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 사업장의 전반에 대해 리스크를 평가하는데 적용할 수 있으며, 주로 사고 발생빈도가 높고 결과의 심각도가 높은 사고의 원인과 결과 및 이에 대한 대책을 도식적으로 표시하고자 하는 경우에 유용하다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

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

(나) “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.

(다) “위협(Threat)”이라 함은 사상의 원인(Cause)을 말하며, 이 지침에서는 원인과

동일한 개념으로 사용한다.

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

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

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

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

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

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 KOSHA GUIDE X-1-2011 “리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침”에서 정하는 바에 의한다.

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 P-8-2009(위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정가이드)를 참조하여 결정할 수 있다.

4.2 리스크 평가팀 운영

(1) 리스크 평가팀은 다음과 같이 구성하며, [별지서식1]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.
- (다) 기타 일반적인 리스크 평가 진행은 아래와 같은 기준을 준용한다.
 - ① KOSHA Guide X-2-2010(리스크 관리 절차에 관한 지침)
 - ② KOSHA Guide X-3-2010(리스크 평가 절차에 관한 지침)
 - ③ KOSHA Guide X-19-2010(리스크 분석방법에 관한 지침)

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

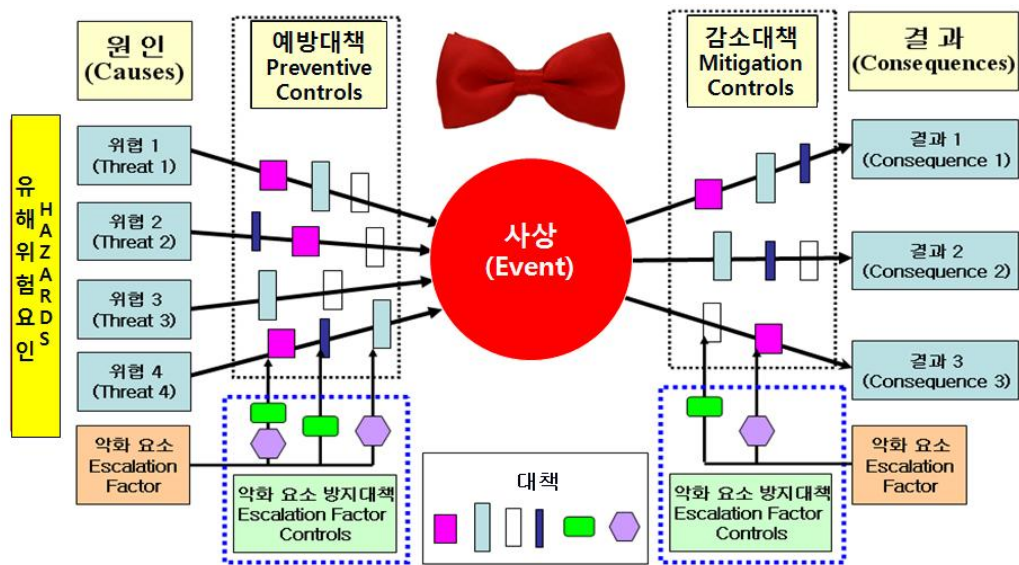
5.1 보우타이 선도(Bow-Tie Diagram)

(1) 보우타이 선도는 <그림 1>과 같은 형태를 띈다.

(2) 보우타이 선도에는 유해위험요인, 사상의 원인, 사상의 결과, 사상의 발생을 예방하

기 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

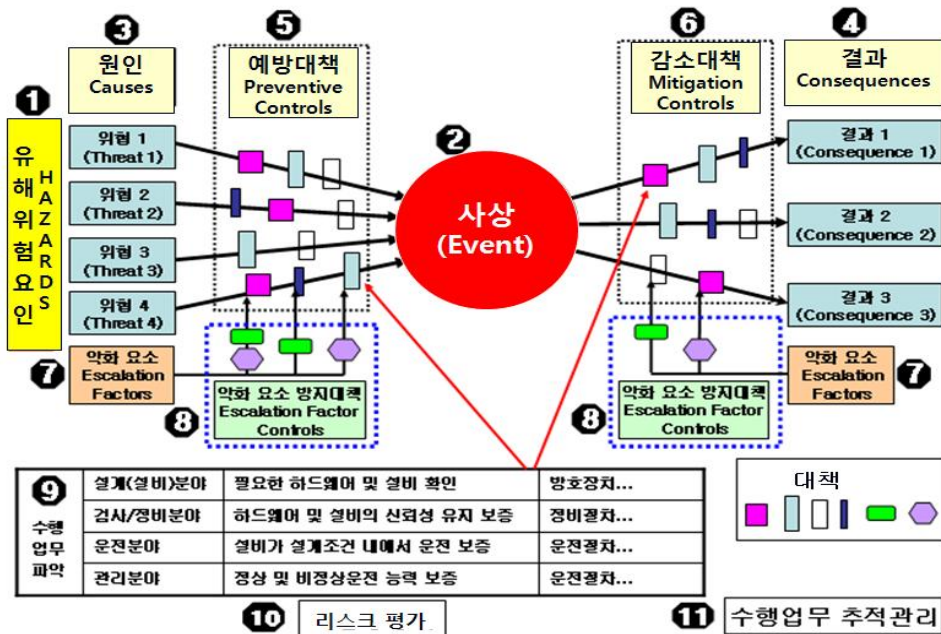
5.2 보우타이 리스크 평가 추진절차 및 단계별 수행방법

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?

단계	단계별 추진사항	구체적인 추진을 위해 단계별 필요한 질문
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 허용 수준을 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 KOSHA Guide X-13-2010(중소규모 사업장의 리스크 평가 관련 유해위험요인 분류를 위한 기술지침)의 부록에 표시된 유해위험요인별 분류 및 점검 확인사항에서 소개되는 아래와 같은 요인을 참조하여 파악한다.

- ① 기계적 요인
- ② 전기적 요인
- ③ 물질(화학물질, 방사선) 요인
- ④ 생물학적 요인
- ⑤ 화재 및 폭발 위험요인
- ⑥ 고열 및 한랭 요인
- ⑦ 물리학적 작용에 의한 요인

- ⑧ 작업환경조건으로 인한 요인
- ⑨ 육체적 작업부담/작업의 어려움 요인
- ⑩ 인지 및 조작능력 요인
- ⑪ 정신적 작업부담 요인
- ⑫ 조직관련 요인
- ⑬ 그 밖의 요인

(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 밸

브가 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 발생하는 것을 방지하기 위한 예방대책을 각각의 원인 별로 파악한다.
- (나) 예방대책에는 위험요인의 제거, 기술적 대책, 관리적 대책, 교육적 대책 등을 모두 포함된다.
- (다) 대책 파악 시에는 KOSHA Guide X-13-2010(중소규모 사업장의 리스크평가 관련 유해위험요인 분류를 위한 기술지침)의 부록에 표시된 유해위험요인별 분류 및 점검 확인사항에서 소개되는 관찰 및 확인사항을 참조하여 파악할 수 있다.

(6) 감소대책 파악

- (가) 발생한 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 방지 대책을 파악한다.
- (나) 감소대책의 역할과 기능을 약화시키거나 무효화시킬 수 있는 요소에 대한 방지 대책을 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 차단밸브 를 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 충전압력 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	설명
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 장애	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) 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 지침에서 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 방지 대책, 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 발생 빈도를 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. 둘째 및 세 번째 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			1P3 : 원인 1에 대한 세 번째 예방대책
신규	E1	E2	신규 : 신규대책
			E1 : 악화요소 1
			E2 : 악화요소 2

- ② <표 8>은 도표에 표시된 예방대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당 대책의 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			2M2 : 결과 2에 대한 두 번째 예방대책
기존	E1	E2	기존 : 기존대책
			E1 : 악화요소 1
			E2 : 악화요소 2

- ② <표 10>은 도표에 표시된 감소대책에 대한 확인 항목이다. 확인 항목에는 해당 대책의 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 미 실시	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.

6. 후속조치

6.1 일반사항

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

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

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

6.2 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) 조치계획(별지서식4)
- (5) 기타 공정 및 평가에 대한 참고사항

[별지서식1]

팀 리더 및 구성원 인적사항

구 분	성 명	학 력 및 전 공	경 력	비 고

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

[별지서식3]

정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표

Event No: _____ 관리번호: _____ 정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 및 관리표 대상공정: _____

빈도	위험/위험(Threats)	예방대책(Preventive Controls): 기(기준), 신(신규)				사상 Event	감소대책(Mitigation Controls): 기(기준), 신(신규)				결과(Consequences)	심각도
T1 1		1P1 기 E1 E2	1P2 신	1P3 신	1P4 기 E3	(예) 롤루엔 누출	1M1	1M2	1M3	1M4		C1 4
T2 3		2P1	2P2	2P3	2P4		2M1	2M2	2M3	2M4		C2 3
T3 2		3P1	3P2	3P3	3P4		3M1	3M2	3M3	3M4		C3 2
T4 1		4P1	4P2	4P3	4P4		4M1	4M2	4M3	4M4		C4 1
T5 1		5P1	5P2	5P3	5P4		5M1	5M2	5M3	5M4		C5 1
T6 1		6P1	6P2	6P3	6P4		6M1	6M2	6M3	6M4		C6 1

No	상태	예방대책	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1P1						
1P2						
1P3						
1P4						
2P1						
3P1						

No	상태	감소대책	담당	기한	관련사항(절차 등)	완료
1M1	기준					
1M2						
1M3						
2M1						
3M1						

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
1P1E1					
1P1E2					
1P4E9					

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
1M2E1					
1M4E2					

리스크 계산(=빈도*심각도)							
빈도	심각도	C1	C2	C3	C4	C5	C6
T1	1	4	3	2	1	1	1
T2	3	12	9	6	3	3	3
T3	2	8	6	4	2	2	2
T4	1	4	3	2	1	1	1
T5	1	4	3	2	1	1	1
T6	1	4	3	2	1	1	1

허용 수준	허용기준 초과	기준 리스크	신규 발효대책 후 리스크 수준	리스크 평가
7점 이하 (예)	T2-C1	12		
	T2-C2	9		
	T3-C1	8		

평가일자 :			
소속	직책	성명	서명

[붙임 1]

정성적 보우타이 리스크 평가 및 관리표(예)

Event No: 울산-1101 관리번호: U-1101 정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 및 관리표(예) 대상공정: 사무동

번호	위험/원인(Threats)	예방대책(Preventive Controls): 기(기존), 신(신규)					사상	감소대책(Mitigation Controls): 기(기존), 신(신규)					결과(Consequences)	심각도
T1 3	계단에서 뛰어다님	1P1 기 E1 E2	P2 신	P3 신			계단에서 넘어갈 때 전도 ↓ 올라갈 때 전도	M1 신 E1	M2 신				낙상 등으로 중상 이상	C1 5
T2 2	굴이 높은 구두 착용	2P1 신 E1	P2 신	P3 신				M1 신 E1	M2 신				무릎, 손목 등 부상	C2 3
T3 4	호주머니에 손을 넣고 다님 (핸드레일을 잡지 않음)	3P1 신	P2 신	P3 신				M1 신 E1	M2 신				가벼운 찰과상	C3 2
T4 2	계단 바닥이 매끄러움	4P1 기 E1	P2 신	P3 신	4P4 신									
T5 2	양손에 물건을 들고 운반	5P1 기												
T6														

No	상태	예방대책	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
1P1	기존	건물상하 외 사업장 내 뛰는 행위 금지			일반안전규칙 재교육	
P2	신규	계단 통행 시 핸드 레일 사용 규칙 제정, 벽면측 핸드레일 설치	관리	12.30	계단통행규칙 제정, 벽면측 핸드레일 설치 대상 파악	
P3	신규	승합 계단에 핸드 레일 사용 표어 부착	관리	12.30	부착 대상 파악	
2P1	신규	굴이 높은 구두 착용 금지(굴 높이 제한)	관리	12.30	복장보호구 착용기준에 추가	
3P1	신규	호주머니에 손 넣고 다니는 행위 금지	관리	12.30	계단통행규칙 제정 및 교육	
4P1	기존	추가적인 계단 청소	관리		청소주기 확인	
4P4	신규	매끄러움 방지 패드 부착	관리	12.30	필요 장소 파악	
5P1	기존	물건을 운반수칙			표준운반수칙 교육	

No	상태	감소대책	담당	기한	관련 사항(절차 등)	완료
M1	신규	건물상하 프로그램으로 유연성 증대	보건	12.30	시내 체육 단련장 설치	
M2	신규	계단의 날카로운 모서리 보수	보건	12.30		

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
1P1E1	사규 무시 풍토蔓延	사규 준수 풍토 조성 및 교육 실시	관리	11.30	
1P1E2	식당 혼잡으로 중식시간에 서두름	부서별 식사시간 조정	관리	11.30	
2P1E1	신발장 부족으로 굴이 높은 구두 착용한 채 통행	신발장 확보 및 사규 교육	관리	11.30	
4P1E1	현장에서 들어올 때 안전화에 기름기가 묻음	신발 밑바닥 청소용 알칸 사용	관리	11.30	

No	악화요소(EF, Escalation Factor)	악화요소 방지대책(EFC)	담당	기한	완료
M1E1	건강증진운동 경시 풍조	보건교육 강화로 인식 개선	보건	12.3	

리스크 계산(=빈도*심각도)							
빈도	심각도	C1	C2	C3	C4	C5	C6
T1	3	4	3	2			
T2	2	12	9	6			
T3	4	8	6	4			
T4	2	16	12	8			
T5	2	8	6	4			
T6	2	8	6	4			

허용 수준	이후 리스크 수준					평가
	허용기준 초과	리스크 빈도	리스크 심각도	리스크	리스크	
8점 이하 (예)	T1-C1	12	2	2	4	적정
	T1-C2	9	2	2	4	적정
	T3-C1	16	2	2	4	적정
	T3-C2	12	2	2	4	적정

평가일자: 2011.11.18			
소속	직책	성명	서명

[별지서식4]

조 치 계 획

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