KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE
기술지원규정

사건수 분석 기법에 관한 기술지원규정
C-C-42-2026

한국산업안전보건공단

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

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 제·개정경과

- 1997년 3월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 1997년 4월 총괄기준제정위원회 심의
- 2000년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2000년 12월 총괄기준제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정)
- 2021년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의(개정)
- 2025년 12월 화학안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- CCPS : GUIDELINES FOR ENGINEERING PROCESS QUANTITATIVE RISK ANALYSIS

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건법 시행규칙 제50조(공정안전보고서의 세부내용 등)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

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

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

목 차

1. 목적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 적용시기 ····· 1

4. 용어의 정의 ····· 2

5. 사건 수 분석 관련 법적 필수사항 ····· 2

6. 팀의 구성 ····· 3

7. 필요한 자료 ····· 3

8. 평가절차 ····· 4

9. 보고서 작성 및 후속조치 ····· 7

9.1 보고서 작성 ····· 7

9.2 개선권고사항의 후속조치 ····· 8

<부록 1> 사건수의 작성방법 ····· 9

<부록 2> 사건수 분석의 실시사례 : 반응기의 안전 시스템 ····· 12

사건수 분석기법에 관한 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 공정위험성평가서를 작성하기 위한 사건수 분석(ETA : Event Tree Analysis)에 필요한 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 규정은 공정의 실패나 혼란 등의 초기사건으로 인하여 발생할 수 있는 사고를 규명하는 방법으로서 설계 또는 운전단계에서 공정위험성평가를 실시할 때 사고의 종류와 발생빈도 및 예상사고시나리오를 도출하는데 적용할 수 있다.

3. 적용시기

(1) 사건수 분석기법은 현재 설계 또는 건설 중인 공장에 대하여는 공정의 개발단계나 초기 시운전 단계에 적용하며, 기존 공장에 대하여는 공정 또는 운전절차의 변경이나 개선이 필요한 경우 등에 적용한다.

(2) 사건수분석기법의 적용 시기는 다음과 같다.

(가) 공정개발단계

(나) 설계 및 건설단계

(다) 시운전단계

(라) 운전단계

(마) 공정 및 운전절차의 변경 시

(바) 예상되는 사고나 사고원인조사 시

4. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “초기 사건 (Initiating Event)”이라 함은 시스템 또는 기기의 결함, 운전원의 실수 등을 말한다.

(나) “안전 요소 (Safety Function)”이라 함은 초기의 사건이 실제 사건으로 발전되지 않도록 하는 안전장치, 운전원의 조치 등을 말한다.

(2) 기타 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 동법 시행령, 동법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다.

5. 사건 수 분석 관련 법적 필수사항

다음은 산업안전보건법령에 관한 사항으로써 반드시 준수하여야 한다.

산업안전보건법 시행규칙 제50조(공정안전보고서의 세부 내용 등)

① 영 제44조에 따라 공정안전보고서에 포함해야 할 세부내용은 다음 각 호와 같다.

2. 공정위험성평가서 및 잠재위험에 대한 사고예방·피해 최소화 대책(공정위험성평가서는 공정의 특성 등을 고려하여 다음 각 목의 위험성평가 기법 중 한 가지 이상을 선정하여 위험성평가를 한 후 그 결과에 따라 작성해야 하며, 사고예방·피해최소화 대책은 위험성평가 결과 잠재위험이 있다고 인정되는 경우에만 작성한다)

가. 체크리스트(Check List)
나. 상대위험순위 결정(Dow and Mond Indices)
다. 작업자 실수 분석(HEA)
라. 사고 예상 질문 분석(What-if)
마. 위험과 운전 분석(HAZOP)
바. 이상위험도 분석(FMECA)
사. 결함 수 분석(FTA)
아. 사건 수 분석(ETA)
자. 원인결과 분석(CCA)
차. 가목부터 자목까지의 규정과 같은 수준 이상의 기술적 평가기법

6. 팀의 구성

사건수분석에 필요한 인원은 공정의 수와 크기에 비례하나 팀의 구성에는 해당공정 및 설비에 경험이 있는 다음과 같은 전문가가 필요하다.

(1) 팀 리더

(2) 사건수분석 전문가

(3) 공정운전 기술자

(4) 공정설계 기술자

(5) 검사 및 정비기술자

(6) 비상계획 및 안전관리자

7. 필요한 자료

사건수분석에 필요한 자료는 다음과 같다.

(1) 설계개념 및 공정설명서

(2) 주요기계장치 기본 설계자료 (Equipment Data Sheet)

(3) 설계개념을 포함한 제어시스템 및 계통설명서

(4) 안전운전절차

(5) 배치도 (Plot Plan) 및 기기배치도 (Equipment Lay-out DWG.)

(6) 공정흐름도 (PFD) 및 물질수지 (Material Balance)

(7) 배관 및 계장 도면 (P&ID)

(8) 배관재료 등 표준 및 사양서

(9) 경보 및 자동운전정지 설정치 목록

(10) 안전밸브의 설정치 및 용량 산출자료

(11) 유틸리티 사양서

(12) 물질안전보건자료

(13) 정비절차서

(14) 운전자의 책무

(15) 비상조치계획

(16) 단위 기기 및 설비에 대한 고장률

(17) 단위 기기 및 설비에 대한 이용불능도

(18) 작업자 실수 관련 자료

(19) 일반원인 고장확률 자료(Common Cause Failure Probability)

(20) 기타 사건수분석에 필요한 자료

8. 평가절차

사건수 분석은 보통 6단계로 구분된다.

(1) 1 단계 : 발생 가능한 초기사건의 선정

정성적인 위험성평가 기법(HAZOP, Checklist등), 과거의 기록, 경험 등을 통하여 초기사건을 선정한다. 초기사건으로는 관심의 대상이 될 수 있는 것으로서 시스템 또는 운전원이 초기사건에 얼마나 잘 대처하느냐에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있는 것을 선정토록 한다. 초기 사건의 예로는 다음과 같다.

(가) 배관에서의 독성물질 누출

(나) 용기의 파열

(다) 내부 폭발

(라) 공정 이상

(2) 2 단계 : 초기사건을 완화시킬 수 있는 안전요소 확인

초기사건으로 인한 영향을 완화시킬 수 있는 모든 안전요소를 확인하여 이를 시간별 작동·조치순서대로 도표의 상부에 나열하고 문자 또는 알파벳으로 표기한다.
안전요소에는 여러 형태가 있으나 다음과 같이 대부분 그 작동결과가 성공 또는 실패의 형태로 나타난다.

(가) 초기사건에 자동으로 대응하는 안전 시스템(예: 가동정지 시스템)

(나) 경보 장치

(다) 운전원의 조치

(라) 완화 장치(예 : 냉각시스템, 압력방출 시스템, 세정 시스템)

(마) 초기사건으로 인한 사고의 영향을 완화시킬 수 있는 시스템(예 : LNG 탱크 주위의 수막설비, 방유제 등)

(바) 주변의 상황(예 : 점화원 유무 및 지연여부, 바람의 방향 등)

(3) 3 단계 : 사건수 구성

선정된 초기사건을 사건수 도표의 왼쪽에 기입하고 관련 안전 요소를 시간에 따른 대응 순서대로 상부에 기입하고 초기사건에 따른 첫번째 안전요소를 평가하여 이 안전요소가 성공할 것인지 또는 실패할 것인지 결정하여 도표에 표시한다. 통상적으로 안전요소의 성공은 도표의 상부에, 실패는 하부에 표시한다. 이때 첫번째 안전요소의 성공 또는 실패가 최종 사고에 이르는 경로에 영향을 주는지 여부를 판단하여 영향을 받는 경우에는 사건수가 성공 실패의 두가지 경로로 갈라지며 영향을 받지 않는 경우에는 다음의 안전요소까지 그대로 진행하게 된다.

첫번째 안전요소의 작동/대응 결과를 평가한 후에는 위와 동일한 방법으로 두번째 안전요소를 평가하고 마지막으로 최종 안전요소를 평가하여 도표에 사건수를 표시한다.

(4) 4 단계 : 사고결과의 확인

사건수의 구성이 끝난 후에는 초기사건에 따른 관련 안전요소의 성공 또는 실패의 경로별로 사고의 형태 및 그 결과를 도표의 우측에 서술식으로 기술하며 이와 함께 경로별로 관련된 안전요소를 문자 또는 알파벳으로 함께 표기한다. 이때 각 안전요소의 성공 및 실패는, 문자 또는 알파벳으로 표기된 안전요소 상부의 막대유무로 표시된다. 즉, 안전요소가 성공하였을 경우에는 안전요소의 상부에 막대를 표시하지 않으나, 실패한 경우에는 안전요소의 상부에 막대를 표시한다. 이와 같이 초기사건으로부터 여러 경로를 통하여 진행된 각종 형태의 사고 및 그 결과를 확인하여 도표의 오른쪽에 기술한다.

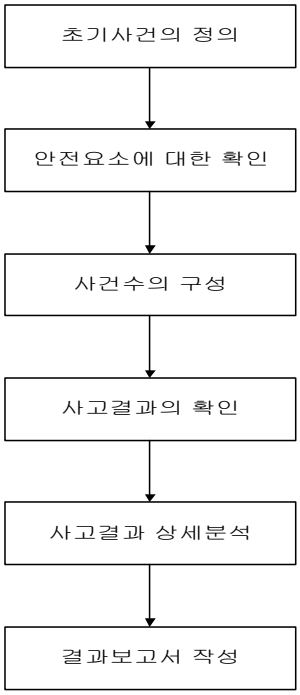
(5) 5 단계 : 사고결과 상세 분석

사건수 분석 기법의 사고결과 분석은 평가항목, 수용수준, 평가결과, 개선요소으로 이루어진다. 평가항목은 안전-비정상조업, 폭주반응, 증기운폭발 등과 같이 사고형태나 회사의 안전관리 목표 등을 고려하여 결정한다. 수용수준은 회사에서 목표로 정한 위험수준으로서 발생빈도나 확률을 나타낸다. 평가결과는 사건수 분석으로 예측된 사고형태를 평가 항목별로 분류하여 각 평가 항목별로 사고발생빈도를 합한 값을 나타낸다. 개선요소는 평가항목별로 각 사고형태의 발생에 해당하는 안전요소들을 나타낸다. 수용수준과 평가결과를 비교하여 평가결과가 수용수준을 만족하지 못할 경우에는 개선권고사항을 작성하여야 한다. 이때 평가항목별로 각 개선요소의 신뢰도 향상 방안과 새로운 안전요소의 추가 등을 분석하여 수용수준을 만족할 수 있는 개선권고사항을 작성한다.

(6) 6 단계 : 결과의 문서화

사건수분석의 최종결과는 다음 8항의 문서화 절차에 의하여 작성한다.

사건수분석의 수행 흐름도를 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 사건수 분석의 수행흐름도

9. 보고서 작성 및 후속조치

9.1 보고서 작성

9.1.1 문서화

사건수분석을 수행한 결과로서 다음과 같은 내용을 문서화하여 보고서를 작성한다.

(1) 개요

(가) 공정 및 설비의 개요

(나) 공정의 위험특성

(다) 초기사건의 설명 및 선정배경

(라) 팀리더 및 구성원의 인적사항(별지 양식 1 참조)

(2) 사건수분석 내용

(가) 평가방법

(나) 기본가정사항

(다) 공정설명 및 주요 운전조건

(라) 사건수 분석도(Event Tree Analysis Diagram)

(마) 대응조치 정보표(별지 양식 2 참조)

(3) 정량화 결과 및 해석

(가) 예상사고 시나리오(별지 양식 3 참조)

(나) 위험성평가결과 조치계획(별지 양식 4 참조)

9.1.2 참고자료

사건수분석시 사용하였던 기술자료의 사본과 리더가 사용했던 주요기기가 표시된 공정배관계장도면도 위험성평가 서류에 철하고 검토보고서의 후속조치, 재설계 서류, 부가적인 권고사항 등 권고사항을 제시하기 위해 작성된 모든 작업서류를 모아 철한다.

9.2 개선권고사항의 후속조치

9.2.1 개선권고사항

(1) 사건수분석결과 사고의 발생확률이 사업장에서 설정한 수용수준을 초과하는 경우에는 반드시 개선권고사항을 작성하여야 한다.

(2) 개선권고사항은 경보장치, 안전장치 및 주요기기의 중복설계와 같은 시설변경이나 운전절차, 작업방법의 변경과 같은 절차의 변경을 포함하며 사고확률을 감소시킬 수 있는 사항이어야 한다.

(3) 경영자는 공정안전관리 담당부서에게 평가결과 보고서의 내용들이 적절하게 추진되고 있는지를 감사하도록 한다.

(4) 후속조치의 책임부서는 회사의 특성에 따라 정비부, 기술부, 사업부 등에서 각각 시행할 수 있도록 책임부서를 지정하여야 한다

<부록 1>

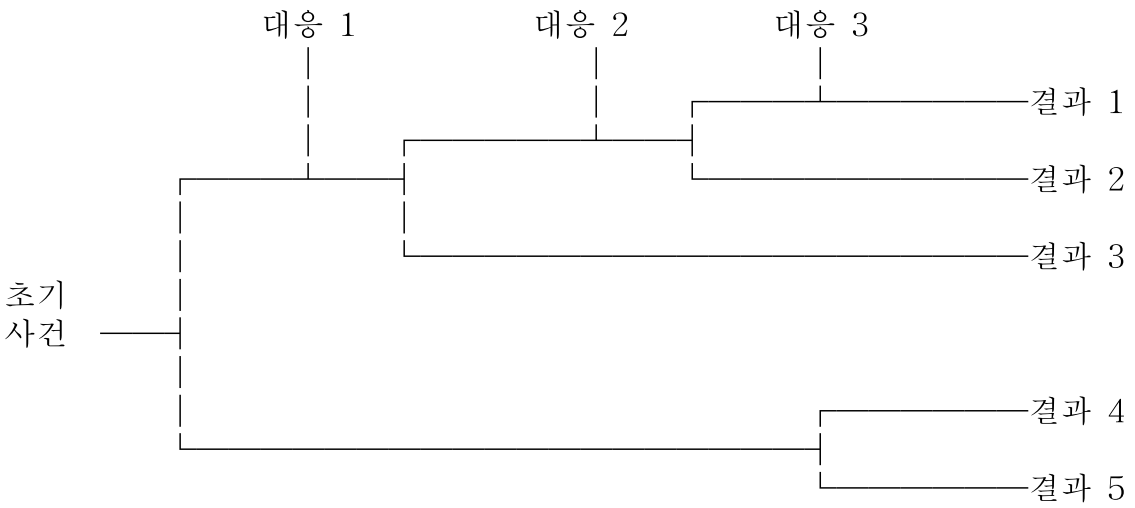
사건수의 작성방법

가. 사건수의 작성방법

사건수는 왼쪽에서 오른쪽으로 쓰며, 초기사건은 왼쪽의 중간 부분에 먼저 쓴다. 연결라인은 초기사건으로부터 첫번째 안전기능으로 그려 나간다. 이때 안전기능은 가동될 수 있거나 고장날 수 있다. 안전기능이 가동하는 작업은 윗 쪽에, 안전기능이 가동하지 않는 작업은 아랫쪽에 그린다. 수평으로 연결된 선들은 이들 두 상태로부터 다음 안전기능으로 그려져 나간다.

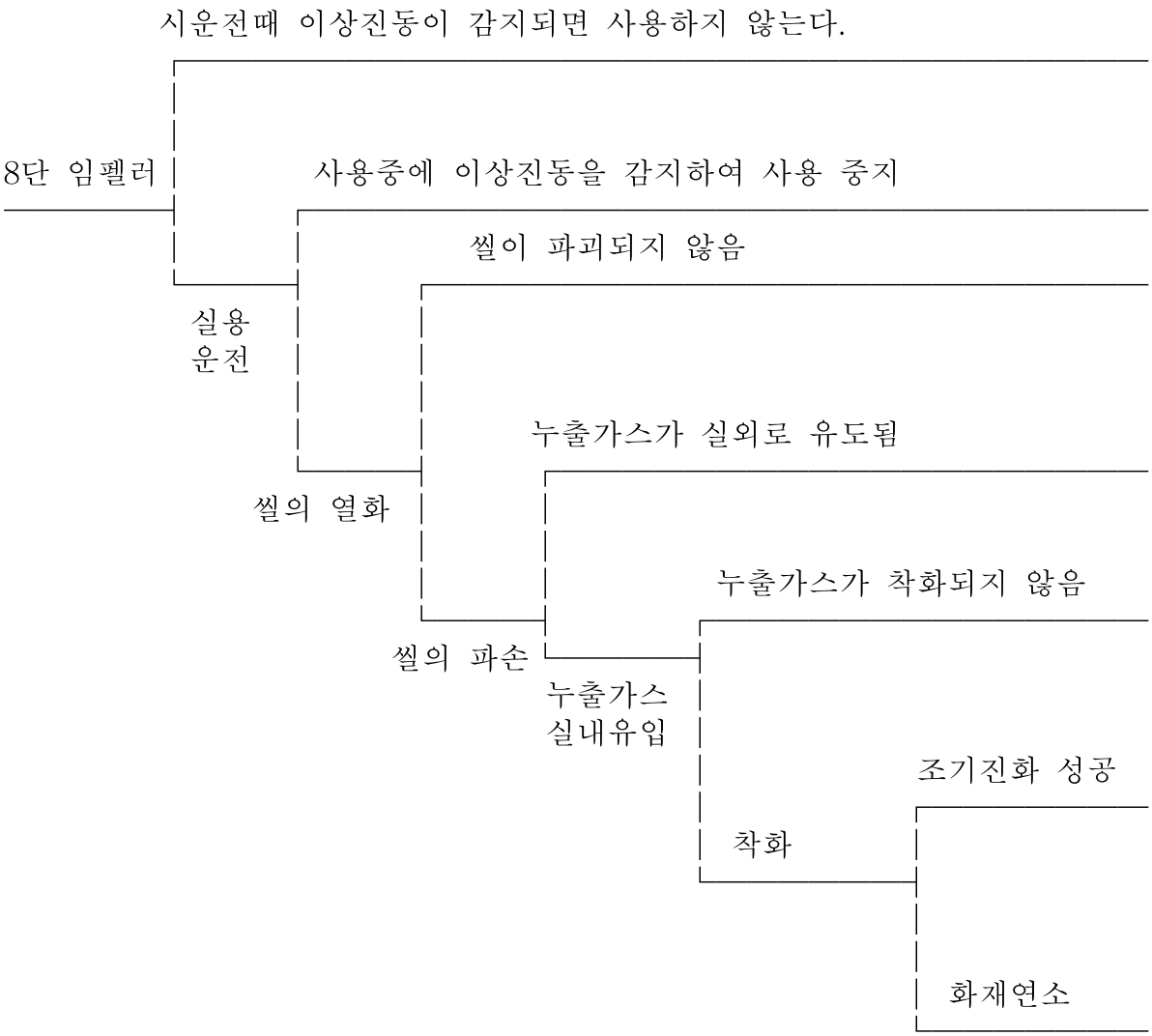
만약 안전기능이 적용될 수 없다면, 수평으로 연결된 선은 가지를 형성하지 않고 안전기능을 통과하여 계속 직선으로 그려져 나가게 된다.

사건수 모델작성의 예시는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 사건수 모델작성 예시

8단 터보압축기에 의한 화재사건의 사건수의 예는 <그림 3>과 같다.



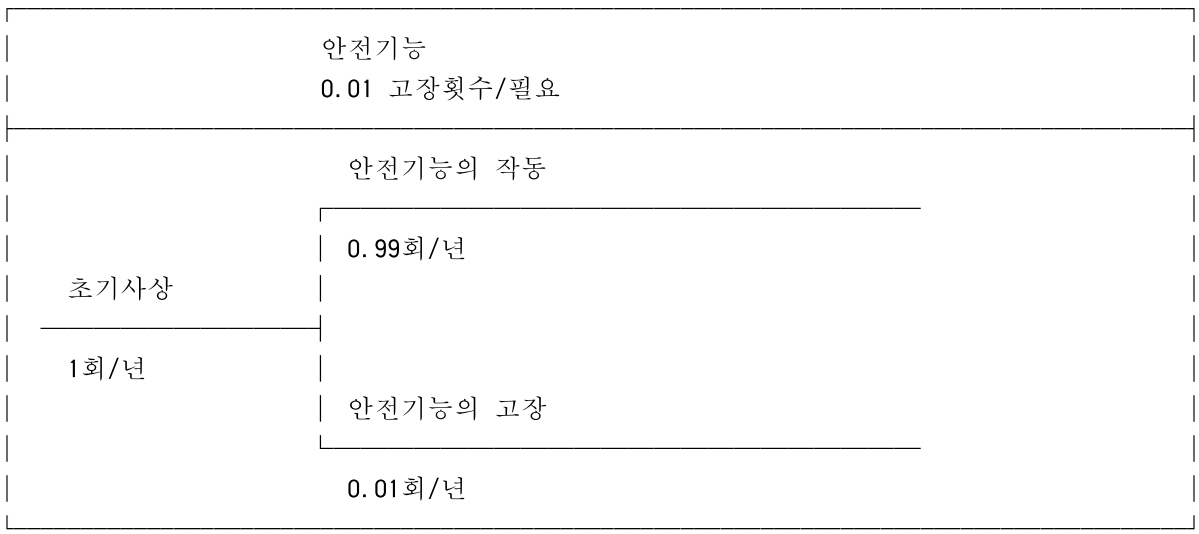
<그림 3> 8단 터보압축기에 의한 화재사고의 사건수 분석 예시

나. 발생확률의 계산

안전기능의 고장률과 초기사상의 발생 확율이 신뢰성이 있으면 각 사건에 대하여 정량적으로 분석할 수 있다. 예를 들면, 냉각 시스템의 결함이 1년에 1회이고, 필요한 안전기능이 1%의 고장률을 갖는다고 가정한다면, 이 경우의 고장률은 0.01 고장횟수/필요(필요시 고장횟수)이다.

또한 작업자가 장치의 이상 상태임을 4회 발생에 3회 인식하여 적절한 조치를 성공적으로 수행한다고 가정한다면, 이 경우 고장률은 4회에 1번 즉 0.25고장횟수/필요로 측정될 수 있다. 그리고 작업자가 조업중단을 성공시킬 경우를 10회에 9번이라 하면 이의 고장률은 0.10고장횟수/필요이다.

안전기능에 대한 고장률은 컬럼 상단부의 바로 아래에 기입한다. 초기사상에 대한 발생빈도는 초기사상으로부터 시작되는 라인 하단부에 기입하며 가지 상단부에는 안전기능이 가동할 경우를, 가지 하단부에는 안전기능이 실패할 경우를 나타낸다. 연결되는 가지의 빈도는 상단부 가지의 경우 안전기능이 정상적으로 작동할 빈도를 기입한다. 하단부 가지의 경우는 안전기능이 실패할 경우를 기입하며, 이때 그 가지에서의 발생빈도는 초기사상과 그 가지의 고장률을 곱하여 계산한다. <그림 4>에서 상단부 가지의 빈도는 0.99(1년에 0.99회 발생)인 반면, 하단부 가지의 빈도는 0.01(1년에 0.01회 발생)이다.

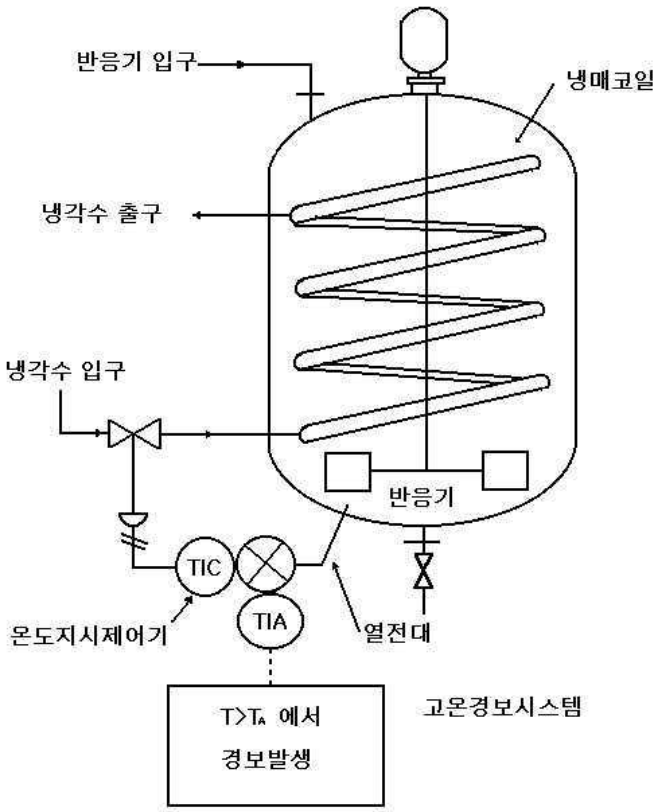


<그림 4> 발생확률의 계산 예시

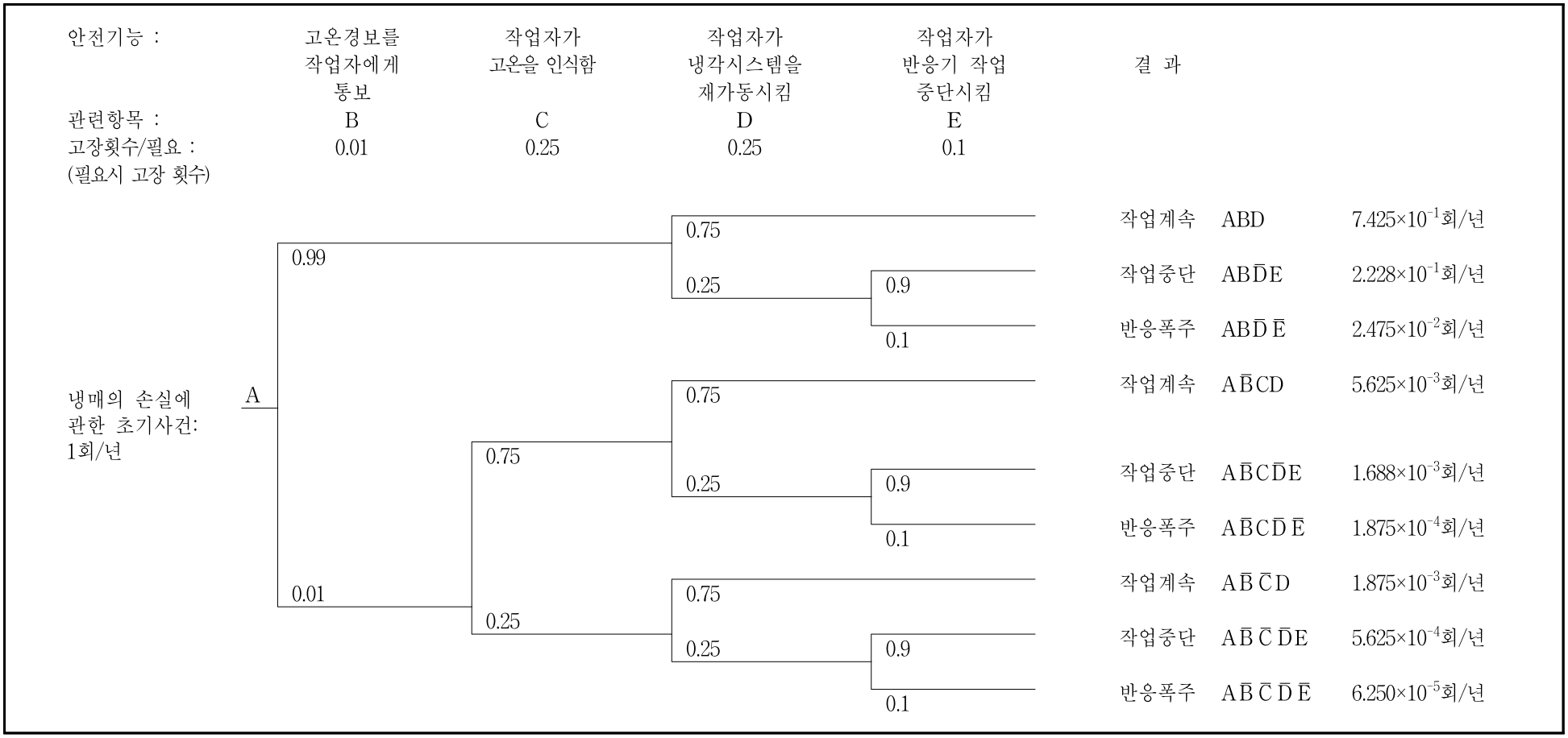
<부록 2>

사건수 분석의 실시사례 : 반응기의 안전 시스템

다음 <그림 5>에 나타낸 화학반응기를 보면 이 시스템은 반응기내의 고온상태를 작업자에게 경고할 수 있는 고온 경보장치가 설치되어 있다. 냉매의 손실을 사건수의 초기 사건으로 하여 분석한 결과 네 개의 안전 시스템이 규명되었으며 이를 사건수의 상단부에 나타내었다. 첫번째 안전기능은 고온 경보 시스템이고, 두번째는 통상적인 점검도중 작업자가 반응기의 고온상태를 감지할 수 있는 것이고, 세번째는 작업자가 신속히 문제점을 보완하여 냉매흐름을 재가동하는 것이며, 네번째는 작업자에 의해 반응기의 긴급 차폐시스템을 가동하는 것이다. 이러한 안전기능들은 이들이 발생하는 순서에 의해 논리적으로 기술되어야 한다.



<그림 5> 고온경보 시스템 및 온도지시 제어기가 있는 반응기



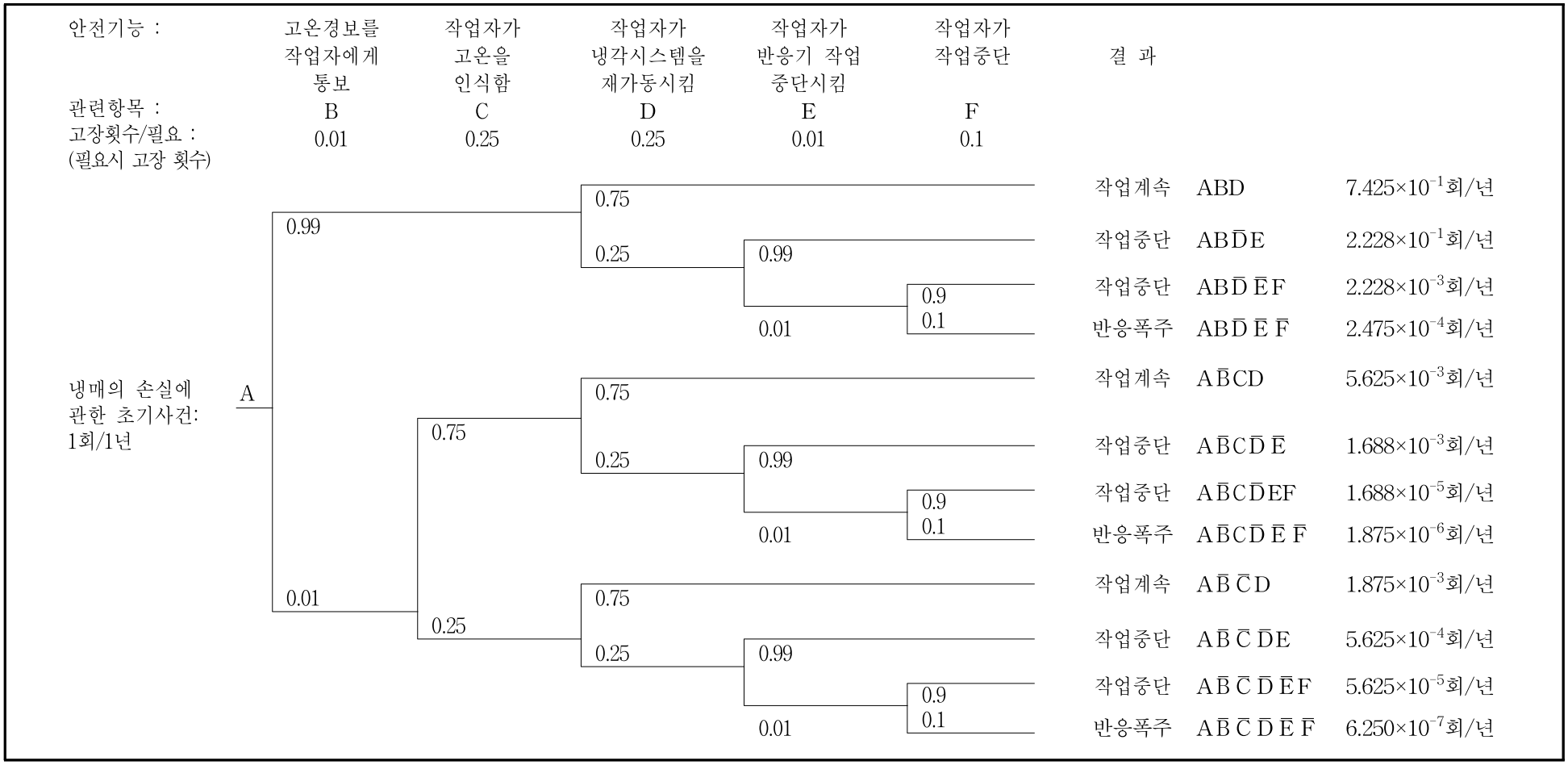
작업중단 = 2.228×10-1+1.688×10-3+5.625×10-4 = 2.25×10-1 회/년
반응폭주 = 2.475×10-2+1.875×10-4+6.25×10-5 = 2.5×10-2 회/년

<그림 6> 반응기에서 냉매의 손실에 대한 사건수 분석 예시

사건수의 오른쪽에 사고결과를 표시하고 사고결과에 이르는 경로에 해당하는 대응조치를 문자 또는 알파벳으로 표시한다. 예를 들면 AB $\overline{D}$E로 표시되면 초기사건 A 다음에 대응조치 B와 E는 성공한 것을 나타내며, 대응조치 D는 실패(고장)했다는 것을 의미한다. <그림 6>에 나타낸 작업중단과 반응폭주의 전체 빈도는 각각의 사고결과에 대한 빈도들의 합이다. 반응폭주의 경우 전체 빈도는 0.025 회/년(경로 AB$\overline{DE}$, A$\overline{B}$C$\overline{DE}$ 및 A$\overline{BCDE}$의 합)으로 예측된다. 이러한 사건수의 분석은 위험한 반응 폭주가 0.025번/년 또는 매40년에 1 번씩 발생할 수 있을 것임을 나타낸다. 이는 상당히 높은 값이기 때문에 반응기에 고온시 긴급 차폐 시스템을 설치함으로써 위험률을 낮추게 하는 것이 가능하다. 이 제어 시스템은 반응기의 온도가 고정된 값을 초과하게 되면 반응기를 자동적으로 차폐시키게 된다. 긴급차폐 온도는 작업자가 냉각 시스템을 재가동시키게 하여 주는 경보시스템의 온도보다 높게 설정된다.

다음 <그림 7>에는 이상과 같이 개선된 공정에 대한 사건수에 대해 나타내었다. 부가적인 안전기능은 고온경보 시스템이 고장나거나 작업자가 고온 상태임을 인식하지 못할 때 가동되게 되는데 이때 반응폭주 발생빈도는 0.00025 번/년 또는 매400년에 1회로 감소하게 된다. 이는 여분의 차폐 시스템과 같은 간단한 설비를 부가적으로 설치함으로서 공정 개선이 가능하게 된다.

사건수는 발생가능한 고장형태에 관한 시나리오를 작성하는데 매우 유용하다. 만약 유용한 정량적 자료가 있다면 고장빈도를 예측할 수 있게 된다. 또한 사건수는 안전 개선을 위한 설계변경시 매우 유용하다. 그러나 대부분의 실제공정에서 매우 상세히 설명되어야 하기 때문에 매우 거대한 사건수를 작성하여야 하므로 시간이 많이 걸리게 된다. 확률적 계산을 하고자 할 경우에는 각각의 안전기능에 대한 자료가 신뢰성이 있어야 한다.



작업중단 = 2.228×10-1+2.228×10-3+1.688×10-3+5.625×10-4+5.625×10-5 = 2.273×10-1+ 회/년

반응폭주 = 2.475×10-4+1.875×10-6+6.25×10-7 = 2.5×10-4 회/년

<그림 7> 반응기에서 냉매의 손실에 대한 개선된 사건수 분석 예시

<별지 1>

팀리더 및 구성원 인적사항(예)

구 분	성 명	학력 및 전공	경 력	비 고
리 더	○○○	화학공학	공정기술 20년	
공 정	○○○	화학공학	생산 15년	
안 전	○○○	안전공학	안전/환경 10년	
외부전문가	○○○	산업공학	시스템안전 15년	

주) 구분란에는 팀리더, 담당분야(전기기사, 공정기사 등)를 기재

<별지 2>

대응단계 정보표(예)

번호	대응단계		고장(실패)확률(회/년)		비 고
	기기·설비명	내용	확률	근거자료[1)]	
1	PIA 216	압력경보 실패	1.94×10^{-2}	K-RDB	

주) 고장확률 자료의 근거문헌을 표시

<별지 3>

예상사고 시나리오(예)

번호	사고경로	사고형태	예상사고 시나리오	사고발생확률 (회/년)	비 고
1	ABCD	반응기폭발	반응기 냉각수공급 중단시 온도·압력경보장치 및 안전밸브 미작동으로 인한 반응기 폭발	2×10^{-3}	

<별지 4>

위험성평가 결과 조치계획(예)

초기사건명 :

번호	사고 형태	사고 경로	사고발생 확률(회/년)		개선권고사항	책임부서	조치 일정	조치진행 결과
			개선 전	개선후				
1	반응기 폭발	ABCD	2×10^{-3}	1.6×10^{-4}	반응억제제 투입배관 신설	공무·기술팀	00.12.31	완료

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2021. 12.

○ 개정자 : 안전보건공단 정용재

○ 개정사유 : 최신 양식에 부합하도록 지침 보완

○ 주요 개정내용

- 1. 목적 : 문구 수정
- 기타 자구 수정 등

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 개정사유 : 확인(체계정비)

○ 주요 개정내용

- 국문 명칭(기술지침→기술지원규정) 개정
- 항목 5(법적 필수사항) 추가

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : C-C-42-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.