

KOSHA GUIDE

X - 6 - 2012

고장형태와 영향분석(FMEA)기법에 관한 지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 사단법인 한국안전학회 리스크관리 연구위원회

충주대학교 화공생물공학과 이기백

○ 개정자 : 산업안전보건연구원 안전연구실

○ 제·개정 경과

- 2010년 9월 위험관리분야 제정위원회 심의(제정)

- 2012년 4월 리스크관리분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 등 반영)

○ 관련규격 및 자료

- CCPS, Guideline for Hazard Evaluation Procedures, AIChE, New York, 2008

- CCPS, Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, New York, 1999

○ 기술지침의 적용 및 문의

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

공표일자 : 2012년 6월 20일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

고장형태와 영향분석(FMEA)기법에 관한 지침

1. 목 적

공정리스크 평가 관련 기법 중 고장형태와 영향분석 기법에 관한 내용을 제시함으로써 사업장에서 공정리스크 평가를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 지원하는데 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 고장형태와 영향분석 기법에 의한 공정리스크 평가를 수행하는 사업장에 적용할 수 있다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “고장형태(Failure mode)”라 함은 고장이 어떤 형태로 일어났는지를 말한다.

(나) “고장영향(Failure effect)”이라 함은 고장이 장치의 운전, 기능 또는 상태에 미치는 즉각적인 결과를 말한다.

(다) “심각도(Severity)”라 함은 고장에 의한 인적·물적 피해의 정도를 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 고장형태 영향분석팀 구성

- (1) 고장형태와 영향분석(Failure mode and effect analysis, FMEA)를 위한 팀원은 대상 공정의 규모에 따라 결정되며, 각각의 분야에서 전문적 지식과 경험을 갖추고 있는 다음과 같은 인력들로 구성한다.

(가) 팀 리더

(나) 리스크 평가 전문가

(다) 공정운전 엔지니어

(라) 공정설계 엔지니어

(마) 공정제어 엔지니어

(바) 검사 및 정비 엔지니어

(사) 전기 및 계장 엔지니어

(아) 비상계획 및 안전관리자

4.2 FMEA에 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) FMEA 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(SLD), 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 중대산업사고, 공정사고 및 앗차사고 사례

(더) 기타 리스크 평가를 위한 자료

5. 평가절차

5.1 FMEA 표준항목

(1) 기기명

분석해야 할 대상 장치로서 공정도면, 기기배치도 등에서 확인할 수 있다. 같은 시스템 내에 다른 기능을 가진 장치가 있을 때는 이를 구분할 수 있도록 하여야 한다. 가동중인 공장에 대한 리스크 분석을 할 때는 P&ID 등의 장치번호가 유용하게 사용될 수 있다. 식별자의 체계는 FMEA 팀원 뿐만 아니라 FMEA의 결과를 사용하게 될 직원들이 쉽게 이해하고 구분할 수 있도록 만들어져야 한다.

(2) 기기 설명(Equipment description)

기기의 종류, 운전 형태뿐만 아니라 고장형태와 그 영향에 영향을 줄 수 있는 다른 특징(고온, 고압, 부식성 등)도 포함하여야 한다.

(3) 고장형태(Failure mode)

FMEA 팀은 각 장치에 대한 모든 고장형태를 분석하여야 한다. 각 장치의 정상 조업조건에 주의를 기울임으로써 정상 조업조건을 바꿀 수 있는 모든 상상할 수 있는 고장을 다루어야 한다.

(4) 고장영향(Failure effect)

각 고장형태에 대해 그 고장이 고장 위치에 미칠 즉각적인 영향뿐만 아니라 다른 장치, 전체 공정에 미칠 것으로 예상되는 영향도 다루어야 한다.

(5) 현재 안전조치(Safeguards)

각 고장형태에 대해 그 고장의 발생가능성을 낮추거나 고장으로 인한 영향의 중대성을 완화할 수 있는 안전조치를 작성하여야 한다.

(6) 개선권고사항(Actions)

각 고장형태에 대한 고장영향의 가능성을 줄일 수 있는 개선권고사항을 작성하여야 한다.

5.2 FMEA 표준양식

- (1) 분석대상을 빠트리지 않고 철저하게 효율적으로 분석하기 위해서 분석결과를 기록할 일관된 서식을 만들어야 한다. FMEA 결과 기록지는 설계나 공정의 리스크를 평가한 결과를 문서화하기 위한 것으로 정해진 규격은 없다. <표 1>은 FMEA 결과의 표준 항목을 포함하고 있는 결과 기록지의 예이다.
- (2) 심각도, 발생빈도 등 대책마련의 우선순위를 결정하기 위한 추가적인 항목을 FMEA 기록 결과지에 추가할 수 있다.
- (3) 분석해야할 모든 장치에 대한 FMEA 기록 결과지를 만들기 위해 공정흐름도의 가장 앞에서부터 공정 흐름과 같은 순서로 각 장치를 분석하고 분석된 장치를 체크하는 방법을 사용할 수 있다.

<표 1> FMEA 결과기록지의 표준양식

날짜 : _____			페이지 : _____			
공장 : _____			시스템 : _____			
FMEA팀 : _____			팀 리더 : _____			
번호	기기명	기기 설명	고장형태	고장영향	현재 안전조치	개선권고 사항

6. 후속조치

6.1 후속조치의 우선순위

고장에 의한 인적·물적 손실이 중대한 것으로 판단되는 경우에는 반드시 개선권고사항에 대한 후속조치를 하여야 한다.

6.2 감사(Audit)

경영자는 공정안전관리 담당부서로 하여금 평가결과 보고서의 내용들이 적절하게 추진되고 있는지를 감사하여야 한다.

6.3 관리부서의 지정

후속조치의 관리부서는 회사의 특성에 따라 정비부, 기술부, 사업부 등에서 각각 시행할 수 있도록 지정하여야 하며, 시행결과를 공정안전관리 담당 부서에 통보하여, 후속조치에 대한 적절한 사후관리가 이루어져야 한다.

<부록 1>

FMEA 표준 항목의 예

FMEA 표준 항목	예시
고장형태	<p>정상폐쇄밸브(Normally closed valve)에서 가능한 고장형태는 다음과 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 폐쇄되어 고정됨 ② 부주의로 개방됨 ③ 외부로 누출됨 ④ 내부로 누출됨 ⑤ 밸브몸체가 깨짐
고장영향	<p>펌프 누출의 즉각적인 영향은 펌프 구역에 유체가 엇질러지는 것이다. 유체가 가연성이면 펌프가 점화원이 되어 화재가 발생하게 되고 주변 장치의 소실 및 인명 사상도 예상될 수 있다. FMEA에서는 기존 안전조치가 작동하지 않는다는 최악의 상황에서 고장영향을 다루는 것이 일반적이다. 다만 모든 고장형태를 동일한 조건으로 분석할 수 있다면 좀 더 낙관적인 조건에서 분석할 수도 있다.</p>
현재 안전조치	<p>반응기의 고압비상정지 인터록은 고압으로 인해 반응기에 손상을 줄 수 있는 고장의 가능성을 낮출 수 있고, 적당한 크기의 압력방출용 안전밸브(Pressure relief valve)는 반응기에서 고압으로 인한 사고의 중대성을 완화시킬 수 있다.</p>
개선권고사항	<p>반응기에 고압경보(High pressure alarm)를 추가로 설치할 수 있다. 특정 장치에 대한 개선권고사항은 특정 고장형태의 원인이나 영향에 대한 것일 수도 있고 모든 고장형태에 대해 적용할 수도 있다.</p>

<부록 2>

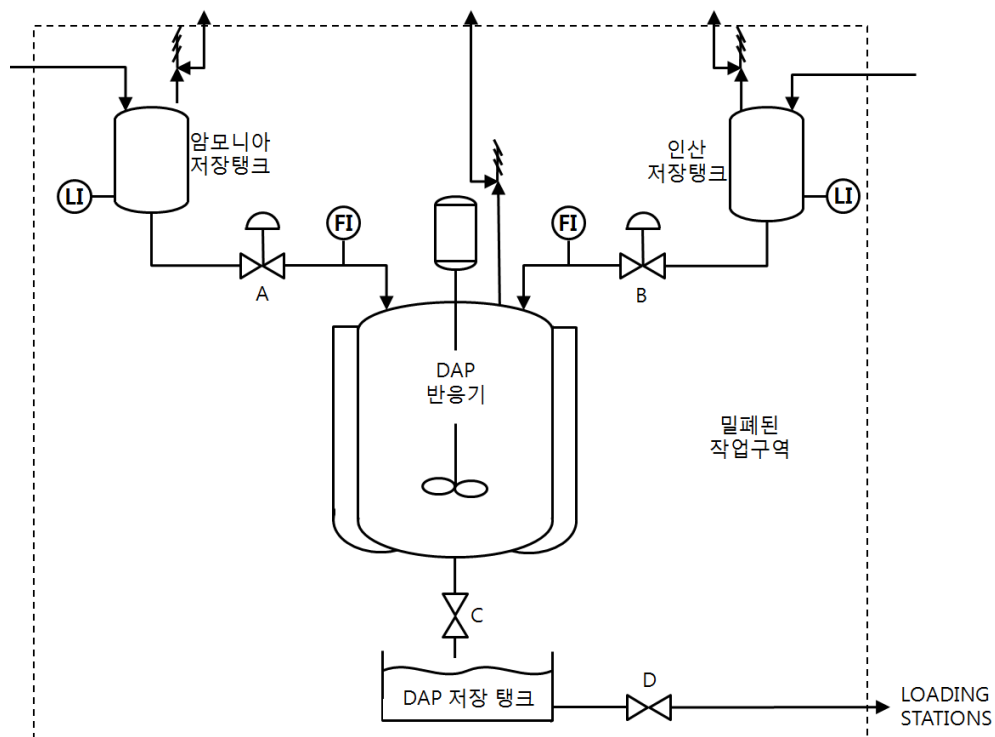
적용사례

[공정개요]

인산용액과 암모니아 용액이 각기 유량조절밸브를 통하여 교반기가 설치된 반응기로 주입된다. 반응기에서는 인산과 암모니아가 반응하여 DAP (인산이암모늄, Diammonium phosphate)를 합성한다. 생성된 DAP는 뚜껑이 없는 DAP 탱크로 보내진다.

인산이 많이 투입되면 규격외 제품이 생산되나 반응에는 리스크가 없다. 만약 암모니아가 인산에 비해 과량 투입되면 미반응된 암모니아가 DAP 탱크로 넘어간다. DAP 탱크의 잔여 암모니아가 누출될 경우 작업구역을 오염시키고 인체에 악영향을 준다. 이에 대비하여 암모니아 감지기 및 경보기가 설치되어 있다.

<별지그림 1>은 이 공정의 PFD이며, 제어밸브 B에 대한 FMEA 결과기록지는 <별표 1>과 같이 작성될 수 있다.



<별지그림 1> DAP 공정흐름도

<별표 1> DAP 공정의 FMEA 결과기록지(예시)

날짜 : 2010/08/02			페이지 : 5			
공장 : DAP Plant			시스템 : Reaction System			
FMEA팀 : FMEA팀			팀 리더 : 홍길동			
번호	장치	설명	고장형태	고장영향	현재 안전조치	개선권고 사항
4.1	인산 공급라인의 밸브B	모 터 식 , 정상열림	Fail open	반응기로의 인산 공급 과잉 암모니아 공급유량도 상승할 경우 반응기 온도 및 압력상승 반응기 또는 DAP 탱크의 수위 상승 규격외 제품	인산 공급라인에 유량지시계 반응기 압력방출용 안전밸브 조업자의 DAP 탱크 감시	인산유량 과다시 경보/자동조업정지 고려 반응기 고온고압시 경보/자동조업정지 고려 반응기 압력방출용 안전밸브의 용량 적정성 확인 반응기 압력/온도지시계, DAP 탱크 수위지시계 설치 고려 DAP 탱크의 고수위시 경보/자동조업정지 고려
4.2	인산 공급라인의 밸브B	모 터 식 , 정상열림	Fail closed	반응기로의 인산 공급 없음 암모니아가 DAP 탱크로 넘어가고 밀폐된 작업구역으로 누출	인산 공급라인에 유량지시계 암모니아 감지기 및 경보	인산유량 낮은 경우 경보/자동조업정지 고려 DAP 저장을 위해 밀폐식 탱크 사용/밀폐된 작업구역에 적절한 환기의 고려
4.3	인산 공급라인의 밸브B	모 터 식 , 정상열림	누출(외부)	밀폐된 작업구역으로 인산의 소량 누출	주기적 보수 산 공급용 밸브	밸브에 대한 주기적 보수 및 검사 확인
4.4	인산 공급라인의 밸브B	모 터 식 , 정상열림	파열	밀폐된 작업구역으로 인산의 다량 누출	주기적 보수 산 공급용 밸브	밸브에 대한 주기적 보수 및 검사 확인