

위험평가

김 동 욱

〈본협회 대구지부 점검과장〉

• 위험평가의 실질성

Pickard, Lowe와 Garrick사의 기술진들은 실질적인 위험평가방식을 개발했는데 그것은 사고발생 과정에서 위험을 분석하는 것으로 모든 변수가 불확실함을 나타내 준다. 분석결과는 변수의 중요성에 따른 장치운전의 종합적 모형으로 나타나며, 이러한 변수는 위험물의 양, 특성, 방재설비의 신뢰도, 작업 규칙, 그리고 plant주위의 인구 및 기후적 조건과 지진발생 가능성 등과 같은 외적인 위험 등이다.

위험평가의 주된 목적은 최선의 조업방법에 대한 판단을 하기위한 것, 즉, 위험관리이다. 위험평가는 여러가지 운영 방법중에서 가장 비용효과적인 방법을 선택하도록 합리적, 과학적이며 수리적인 방법을 제시하는 것이다. risk의 사전적인 정의를 보면 "손실 발생의 가능성"이라고 되어 있으며 이것은 risk의 개념에 불확실성의 의미를 내포하고 있는 것이다. risk와 hazard를 구분하는 것은 매우 중요한 일로 가장 손쉬운 방법은 예를 들어 설명하는 것이다.

• Hazard

냉각장치나 안전장치가 없을 경우 폭발을 일으킬 수 있는 유독성물질 저장탱크는 hazard이다. 이

러한 경우 폭발을 방지할 수 있는 방법에는 2가지가 있을 수 있는데, 하나는 열교환기, 펌프, 반응억제장치 등으로 구성된 냉각장치를 설치하는 것이고, 다른 하나는 2개의 냉각장치와 2개의 안전장치를 설치하는 것이다. 두가지 경우 모두 작동 중에 사고가 발생할 수 있다. 그러나 사고가 발생할 가능성은 전자의 경우가 후자보다 훨씬 크다. 따라서 동일한 hazard의 경우 risk는 전자가 후자보다 크다.

어떤 활동의 결과에 대한 불확실성이란 risk가 그러한 활동에 관계되어 있다는 의미이다. 저장탱크의 경우에 있어 안전보호장치는 그 의도대로 작동하지 않을 수 있으며 따라서 이러한 작동 가능성에 대한 불확실성과 그로 인한 사고발생 가능성은 hazard로 부터 risk가 있다는 느낌을 갖도록 한다. 만일 그렇지않고 안전보호장치가 완전히 신뢰할 수 있는 것이라면 hazard에는 아무런 risk도 없는 것이다.

• 중요한 질문

위험평가지에는 다음과 같은 3가지 중요한 질문을 하여야 한다.

첫째, 사고발생 가능성이 있는가?

둘째, 사고는 어떻게 발생하는가?

셋째, 사고의 결과는?

이러한 질문에 대한 대답은 3가지 형태(S.F.C)

로 할 수 있는데 S는 사고상황이고, F는 사고발생 가능성, C는 추정손실액을 나타낸다. 따라서

$$\text{Risk} = \{(Si, Fi, Ci)\}$$

여기에서 Fi는 불확실성을 나타내며 일반적으로 단위시간의 사고발생건수를 나타낸다. 즉 사고빈도를 말한다. 이러한 사고빈도와 기타 위험발생 요인을 분석하는데 있어 분석자는 충분한 통계자료를 갖고 있지 못하며, 이러한 자료부족은 제2의 불확실성을 야기시킨다. 따라서 이런 불확실성을 나타내기 위하여 확률(가능성)을 이용한다.

• 위험곡선(Risk Curves)

일반적으로 risk는 Risk Curve로 나타내는데, 이것은 다른 활동과 risk와의 비교를 용이하게 하기 위해서이다. Risk Curve는 S, F, C의 가능성과 결과로 구하는데 그림3은 이들 3개의 curve를 나타낸 것이다. 어떤 경우에는 손실수준이 위험물에 의한 인명손실수 및 plant와 인접한 건물이나 설비의 재정적 손실이 된다. 이 diagram을 이용하기 위해서 예를 들어 보면 최하위 곡선의 경우, Xi에서 시작한다. Xi의 빈도는 $F_{0.95}(Xi)$ 인데 이것은 Xi를 초과하는 사고빈도, 즉 그림3의 초과빈도이다.

위험분석에 있어서 현재 지식의 불확실성으로 인하여 일군의 위험곡선만을 얻게 되는데 그림3은 각각의 Risk Curve를 나타낸 것이다. 예를 들어 $F_{0.95}(Xi)$ 는 손실수준 Xi에서의 백분률 95번째 초과빈도, 즉 손실액 Xi 이상의 사고가 발생할 수 있는 빈도가 $F_{0.95}(Xi)$ 이하라는 사실을 95% 확신한다는 의미이다.

• 누출사고

정유공장의 누출사고 위험을 조사하기 위한 연구계획은 JBF 회원의 기술진에 의해 개발되었다.

그 연구계획은 2단계로 되어 있는데, 첫째 단계는 예비위험분석으로서 정유공장에서의 누출사고 위험요인을 파악하는 것이며, 둘째 단계는 위험분석으로 예비위험분석에서 파악된 정유공장지역에 대한 분석을 하는 것이다. 이러한 분석의 목적은 첫째, 정유공장의 중요위험요인을 파악하고 둘째, 이러한 위험을 감소시킬 수 있는 기술적 방법을 개발하며 셋째, 보다 철저한 분석을 요하는 중요공정을

파악하는 것이다.

이런 목적을 위하여 JBF는 중요 공정설비의 누출과 부식 등에 의한 사고의 발생빈도와 손실에 대한 면밀한 평가를 하여 그 결과를 각 정유공장에서 제공한 기준과 비교하였다.

이러한 결과 부식사고는 누출사고보다 더 심각하며 일반적으로 공정조건(압력, 온도, 유속 등)에 커다란 변화를 일으키므로 이런 공정사고는 중앙통제반의 관리자나 경보장치에 의해 신속하게 감지할 수 있다. 이와는 반대로 누출사고는 그 규모가 작아 공정설비에 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

예비위험분석결과를 기초로 JBF 기술진들은 경제성이 있는 위험분석을 위하여 9개의 공정단위, 즉 Hydrogen, 1st-stage and 2nd-stage Hydro-treater, Dewax, Crude, Condensate, Hydrobon / Plateformer, Fluid Catalytic Cracking, Sat Gas Unit를 선택했다.

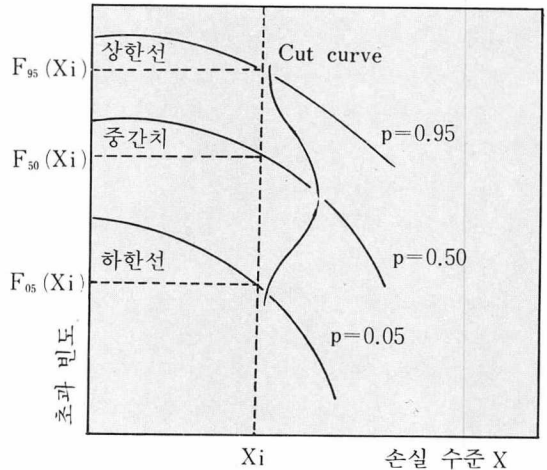


그림 3 위험곡선군

• 기술적 접근방법

JBF는 누출에 의한 정유공장의 사고발생빈도와 손실을 평가하고 이러한 사고와 관계되는 위험, 또는 절대위험을 사고의 발생빈도와 손실로 규정하였다.

어떤 특정한 활동에 대한 위험평가는 그 수용여부를 판단하기 위한 것일 경우가 많다. 그러나, 사고의 종류에 따라 그에 대한 관심도에는 많은 차이가 있다. 예를 들면, 모든 산업체는 그 전체를 파괴할 수 있는 사고위험(발생빈도는 낮고 그 결과는 거대함)에 대해서는 그것을 감소시키기 위한 모든 노력을 아끼지 않을 것이지만, 소규모 사고(발생빈도는 높지만 그 결과는 적음)에 대해서는 비록 이런 두가지 사고와 관련된 절대위험은 같을 지라도 많은 투자를 하려고 하지 않을 것이다. 다시 말하여 모든 회사는 대형사고위험을 소규모 사고위험 이하로 감소시키기 위한 많은 투자를 한다.

• 위험요인의 결정

JBF는 중요 위험요인 파악을 위하여 4단계 접근 방법을 이용하였다. 첫 단계로 JBF는 누출사고과정의 모형을 개발했고, 두번째 단계로 각 사고의 발생빈도를 산업평균데이터, 과거의 손실내력, 기술적인 판단 등을 기초로 평가했고, 세번째 단계로 각 사고로 인한 정유공장의 경제적 손실을 장비의 유지비용과 손실평가액을 기초로 평가했으며, 마지막으로 중요 위험요인을 결정하기 위하여 각 사고 및 공정단위, 공정장치, 그리고 정유공장 전체의 사고발생빈도 및 그 손실액을 평가했다.

이 사고과정단계기법은 공정물질의 누출과 발화로 인한 화재 및 폭발위험을 결정하기 위하여 사고 분석법을 사용하였다. 사고를 일으키는 event를 초기 event라고 말하는데 이것은 누출, 부식 및 각 공정장치의 결합 등이 있다.

이런 분석을 위하여 각 공정단위를 부분별로 나눈 것은 다음과 같은 2가지 목적을 합리적으로 이루기 위한 것이다.

첫째, 각 누출사고로 인한 손실을 세부적으로 파악하기 위하여

둘째, 보다 용이한 분석을 하기 위해서이다.

그러나 하나의 공정단위를 수천개의 부분으로 나누어 분석한다는 것은 시간낭비이며 비효과적이고, 또한 몇 개의 커다란 부분으로 나누는 것 역시 위험을 분석하는데 있어서 가정을 설정해야 하기 때문에(예를 들면 사고발생빈도와 손실액 등에 대한 부정확한 평가 등) 바람직하지 못하다. JBF는

분석의 간소화를 위하여 공정단위를 공정부분으로 나눌 때 공정부분에서 발생할 수 있는 누출사고로 인한 손실액에 영향을 미칠 수 있는 3가지 요인을 기초로 하였다. 즉, 첫째 합리적인 차단 요인으로서 누출량을 통제할 수 있는 밸브를 사용하는 것이 보통이며, 둘째 유사공정물질과 조건을 기준으로 해서 공정부분으로 나눈 것은 누출되는 장치의 물질 종류(프로판 등) 및 온도, 압력 등이 화재나 폭발사고의 주위험요인이기 때문이며, 셋째 설비의 위치 역시 사고로 인한 손실액에 많은 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

“발화의 지연(방지)”은 누출된 물질을 감지하거나 격리시키기 이전에 발화가 되느냐 그렇지 않느냐를 나타내는 것으로 이러한 가능성은 공정물질과 조건 및 누출된 위치에 기인하는 것이지 발화 방지를 위한 운전자의 특정한 행위에 기인하는 것은 아니다.

이 “발화의 지연(방지)”은 사고분석구조에서 맨 먼저 위치하게 되는데 그 이유는 탄화수소화합물의 누출에 의한 발화는 운전자가 누출량을 통제하여 손실을 극소화시키는데 커다란 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

유류가 대량 유출되는 파열의 경우를 예로 들면, 만일 이 유류가 곧바로 발화된다면 이 화재로 인하여 운전자는 가까운 곳에 있는 밸브를 닫지 못할 수 있으며, 만일 밸브가 유일한 차단요인이라면 운전자는 신속하게 누출된 유류를 차단할 수 없게 되어서 계속되는 화재의 확산으로 인하여 손실을 감소시킬 수 있는 기회는 적어지고 따라서 대형손실을 야기시킨다. 그러나 만일 누출된 유류가 즉각 발화하지 않고 따라서 운전자가 그것을 신속하게 차단하여 더 이상의 손실을 방지하게 될 경우에 손실은 보다 감소된다.

“누출량의 통제”는 운전자가 누출량을 극소화시키기 위하여 취할 수 있는 모든 행위를 나타내는 것으로 이러한 것은 각 공정에 따라 다르겠지만 일반적으로 다음과 같은 행동을 포함한다.

첫째, 밸브의 폐쇄

둘째, 펌프나 압축기의 작동 중지

셋째, 설비의 감압

네째, 공정물질 재공량의 감소

다섯째, 설비의 동력 차단

사고분석구조의 “누출량의 극소화”에서는 다음과 같은 운전자의 능력을 나타낸다.

첫째, 누출로 인한 발화의 방지

둘째, 누출물이 이미 발화가 되었을 경우에는 인접지역의 화재 및 폭발손실 극소화 손실의 극소화는

① 누출물의 양 및 종류

② 다른 공정장치와의 거리

③ 화재 진압을 위한 진압조건 등에 따라 달라진다. 사고과정은 누출 직후의 손실감소방법의 성패 여부의 결합형태로 사고분석구조에 있어 각 사고는 어느 정도의 손실을 가진다.

일반적으로 손해액은 누출감소대책이 실패한 사고에서 보다 크며 이런 사고는(보통 파열사고) 그로 인한 화재나 폭발의 영향이 보다 광범위한 지역에 미치기 때문에 인명피해의 위험이 있다.

• 평가

각 사고의 장비손실 평가시에는 첫째, 사고 그 자체. 둘째, 물질의 특성 및 물질이 누출된 공정의 조건. 셋째, 공정의 위치 및 각 장비간의 거리. 넷째, 교체비용 등을 고려하여야 한다. 각 사고에 의한 기업휴지손실 평가시에는 이런 사고에 의한 추정가능한 공정휴지시간 및 휴지시간의 비용을 평가하여야 한다.

공정을 원상태로 회복하는데 필요한 시간을 측정할 때에는

① 추정 장비손실

② 주문에서 인도까지 장시간을 요하는 장비의 추정 공급시간

③ 손상된 장비의 수선 시간

④ 온도강화, 청소, 가열 등에 소요되는 관리시간 등을 고려해야 한다.

이런 것들은 정유공장의 실무자가 경험에 의해 평가하였다. 각 정유공장에서는 휴지기간 동안 매일 매일의 손실비용 평가액을 제공하였다. 휴지기

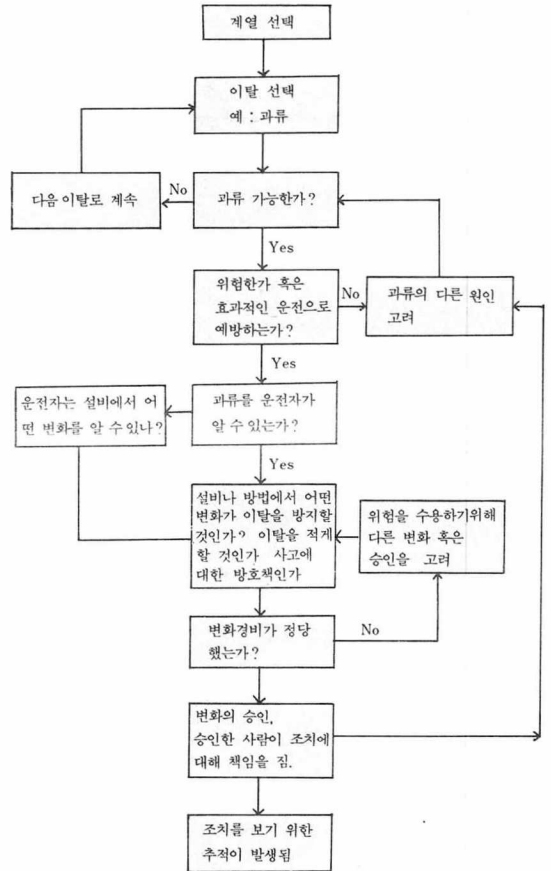


그림 5 - HAZOP 절차

간 동안의 생산성의 손실 평가액과 휴지기간 동안의 공정단위의 소요경비는 그러한 사고로 인한 기업휴지손실을 나타낸다. 4천2백건 이상의 각 사고에서 추정되는 기업휴지 손실액과 장비 손실액을 합하여 9개 부류의 총 손실액 범주에 배분하였다. 이상의 경제적 위험분석에 기초하여 JBF는 각 공정단위별로 35개의 권장사항을 개발했다. (66)