

위험성평가 방법 개론에 관한 연구

김 태 환[†]

Kim, Tae-Hwan[†]

용인대학교 교수

1. 서 론

독성물질이나 가연성물질 같은 화학물질에 의한 누출, 폭발, 화재사고는 다른 산업사고와는 달리 사업장의 근로자는 물론, 인근지역주민이나 나아가 환경, 생태계에까지 심각한 영향을 미치는 중대산업사고로서 이를 방지하기 위한 노력이 다각도로 이루어져 왔다.

특히 이러한 화학물질을 주로 취급하는 화학공장은 고도의 기술집약적 장치산업으로서 국가의 기간사업이며 화학물질의 많은 보유량과 복잡한 시스템으로 구성되어 있어 중대산업사고의 잠재위험성이 매우 높은 업종이라 할 수 있다.

사고를 줄이는 방법의 하나는 화학공장의 잠재위험을 찾아 제거하는 것인데 이 잠재위험성을 찾는 효과적인 방법이 바로 위험성 평가이다.

화학공정의 위험평가 방법은 평가의 대상이나 목적 또는 평가시기 등에 따라 매우 다양하게 선택될 수 있으나 어떤 위험요소에 대하여 그 요소의 존재여부를 규명하고 위험요인을 제거하거나 그로부터 사람을 보호하기 위한 조치사항을 결정하는 공통된 특징을 갖고 있다. 그러나 화학공정의 위험평가에 적합한 최적의 방법은 결코 어떤 특정한 방법으로 국한시킬 수 없고 공정의 특성이나 평가대상에 따라 적절한 방법을 선택하여야 하며 여러가지의 위험평가 방법을 병용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

위험성평가 방법은 크게 나누어 어떠한 위험요소가 존재하는지를 찾아내는 정성적 분석방법인 Hazard Indemnification Methods와 그러한 위험요소를 확률적으로 분석평가하는 정량적 평가방법인 Hazard Assessment Methods로 분류할 수 있다.

2. 위험성요소의 확인 및 평가

공정안전성 확보를 위한 위험요소의 확인 및 평가에

[†] E-mail: taehwan@eve.yongin.ac.kr

는 다음과 같이 두가지 기본적인 접근방법이 있다.

2.1 경험과 규정에 따름(Adherence to good practice)

평가를 위해 물론 경험과 규정에 따르는(Adherence to good practice) 것은 화학공정산업이나 그밖의 곳에 서의(취할 수 있는) 모든 행동에 대해 최소한으로 요구되는 사항이다. 이것은 규칙(Rule)과 규격(Regulation) 들을 준수하고, 선정된 표준들에 필요한 사항을 만족 시키도록 하며, 동일한 공정, 동일한 공장 설계와 필요 사항, 동일한 운전 및 유지절차에 대해 수년간의 경험 으로부터 최적이라고 증명된 Practice를 따르는 것으로 이루어진다. 체크리스트(Check List)나 안전성 검토(Safety Review)와 같은 위험요소 평가절차는 선정된 표준과 좋은 Practice로부터의 이탈(Deviation)을 확인 하는데 이용된다.

사람들은 여러 다양한 화학물질들을 만들고 사용하고 다듬으로써 경험을 축적했고, 그들은 또한 이 경험 들을 표준이나 추천되는 지침의 형태로 기록해 왔다. 공장들이나 회사, 산업체 또는 국가는 이러한 경험들 을 유사한 상황들에 대한 표준절차로서 기록한 많은 표준들(Standards)를 가지고 있다. 이런 기술적인 표준 들은 사업에서 자주 사용하는 특정한 설비들을 설계하 는 방법을 정하는데 있어서, 기술적인 설계표준들을 갖고 있다. 이 설계표준들은 그 세부사항이나 형태에면 에서는 다양하지만 일반적으로 주요 공학협회의 표 준들은 반복적으로 일어나는 상황에서 확실하게 사용 될 수 있지만 새로운 적용들이나 드물게 일어나는 상 황들에는 부적당할 수도 있다.

엔지니어링을 할때 장치의 제작, 건설, 운전과정에서 의 안전성, 신속성, 경제성을 유지하기 위하여 각종 규 제나 표준을 이용하는데 이들 규제나 표준을 정한 것 이 법규, 규격이다.

법규라 함은 국가 공공기관이 정한 것으로서 법적구 속력을 갖는 것은 말하며 이에 반하여 규격이라 함은 학회, 협회, 민간기업 등이 정한 것으로 협회에 의한

것을 법으로 준수하도록 의무화한 경우도 있으나 그 자체는 법적 구속력이 없다. 좋은 경험과 규정으로 사용되는 여러가지 설계기준에 대하여 알아보면 다음과 같이 구분할 수 있다.

2.1.1 법규, 규격(Code and Regulation)

- 법규 : 산업안전보건법, 소방법, 고압가스안전관리법, 에너지이용합리화법, 환경관계법규 등
- 규격 : KS, JIS, JPI, ASME, ANSI, NEPA, TEMA, API 등

2.1.2 기술표준(Technical)

- 설계표준(Engineering Standards)
- 표준시방서(Standard Specification)
- 표준도면(Standard Drawing)
- 설계참고서(Design Manual)

이와 같이 많은 표준들과 좋은 Practice들은 사고나 피해를 없었지만 사고에 가까운 것들을 분석하여 얻어진 교훈으로부터 만들어졌다. 또한, 사업체에서의 위험들에 대한 문헌을 제공해 준다. 얻어진 교훈들로부터 설계와 건설, 운전 및 유지절차들 그리고 경영 Practice와 제어의 개선을 이룰 수 있다. 공학적 표준과 좋은 Practice의 사용은 화학공장 산업체에서 생겨나는 위험을 확인하고 조절하기 위해 중요하고 필요한 단계이다.

2.2 예측 위험요소의 평가(Predictive Hazard evaluation)

예측위험요소 평가는 새롭고 다른 공정이나, 설계, 설비 또는 절차가 고려되어지는 경우에 필요한 부가적인 단계이다. 경험이 없는 경우, 새로운 위험과, 새로이 일어날 가능성을 갖고 있는 사고, 시스템이 사고에 대해 응답하는 새로운 방식 등에 대해 시스템을 조사하는 것이 필요하다. 위험요소 평가절차는 새로운 공정이나 공장 그리고 경험이 축적되어 있지 않는 수정이 계획되어 있는 기존 공정이나 공장들에 대한 체계적인 조사를 제공하기 위해 개발되어 왔다.

즉 예측위험 평가분석법은 경험과 규정에 따르는 것과는 달리 이전의 경험과 상당히 다른 공정이나 시스템의 분석에 사용된다. 이것은 일어날 확률이 매우 적지만 일단 일어나면 그 영향이 큰 사고에 대해서도 적용될 수 있다. 이러한 경우에는 그 성격상 거의 이전의 경험이 없는 사고이다.

이 개념은 사건이 일어날 확률과 그 사건의 영향을 둘 다 중요시하는 것이다. 위험률은 대개 사건이 일어날 확률과 그 영향으로 구성되는 간단한 함수로 이루어진다. 그러나 때로는 일어날 확률이나 그 영향중에

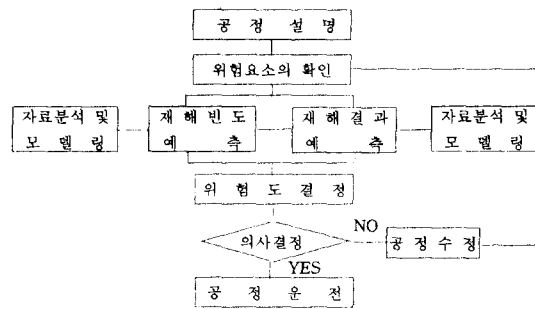


그림 1. 위험분석방법

하나가 위험률을 좌우할 때도 있다. 예측분석법은 사건의 일어날 확률과 그 영향을 정성적으로나 정량적으로 제시할 수도 있고, 필요하다면 그 위험을 줄이는 방법을 제안하기도 한다. 그림 1은 위험분석방법의 개념을 나타내고 있다.

예측분석법은 공정이 예기치 않은 사고의 발생없이 설계한 대로 운전되는 것을 가정한다. 예측분석법의 목적은 사고를 유발할 수 있는 위험요소들을 알아내고 그 정도를 평가하는 것이다.

3. 위험성평가기법의 종류

3.1 개요

위험성평가 방법은 크게 나누어 어떠한 위험요소 존재하는지를 찾아내는 정성적 분석방법인 Hazard Identification Assessment Methods와 그러한 위험요소를 확률적으로 분석평가하는 정량적 평가 방법인 Hazard Assessment Methods로 분류할 수 있다.

3.1.1 정성적 평가(Hazard Identification Methods)

- 체크리스트(Checklist)
- 사고예상질문분석(What-if)
- 상대위험순위(Dow and Mond Indices)
- 위험과 운전분석(HAZOP)
- 이상 위험도분석(FMECA)
- 작업자실수분석(Human Error Analysis)

3.1.2 정량평가(Hazard Assessment Methods)

- 결합수분석(FTA)
- 사건수분석(ETA)
- 원인-결과분석(Cause-Consequence Analysis)

정성평가는 비교적 쉽고, 빠른 결과 도출을 할 수 있으며 비전문가도 약간의 훈련을 거치면 접근이 용이하고 시간과 경비를 절약할 수 있는 장점이 있는 반면에 평가자의 기술수준, 지식 및 경험의 정도에 따라 주관

적인 평가로 치우치기 쉬운 단점이 있다.

정량평가의 경우는 객관적이고 정량화된 결과 도출을 할 수 있으나 시간·경비의 과다소요, 전문가의 도움, 통계 데이터의 확보 및 신뢰성에 문제가 있다.

3.2 평가기법의 종류와 특징

위험성 평가기법의 종류별 주요평가방법에 대한 개략적인 내용은 다음과 같다.

3.2.1 체크리스트 기법(Process/System checklist)

체크리스트기법은 미리 준비된 체크리스트를 활용하여 최소한의 위험도를 인지하는 방법으로 미숙련 기술자도 적용 가능하고 이용하기 쉬우며, 상대적으로 빨리 결과를 제공해 준다는 장점이 있으나, 체크리스트 작성자의 경험을 기반으로 해야 한다는 단점이 있으므로 주기적으로 체크리스트를 검사하고 보완해야 한다.

체크리스트에는 공정일반, 공정장치 및 설비, 공장배치, 화학물질의 취급, 저장 및 관리, 운전절차 검사 및 정비, 안전관리, 환경관리, 공장조직, 공장관리, 교육훈련 등에 대한 항목이 포함되어야 하며 체크리스트의 각 항목별로 양호, 적정, 보완필요로 분류하여 위험등급, 발생빈도 및 치명도 구분을 하여 관리하여야 한다.

3.2.2 안전성 검토법(Safety Review)

안전성 검토법은 공장의 운전과 유지절차가 설계목적과 기준에 부합되는지 확인하는 기법으로서 전문적인 지식과 책임을 가진 조직에 의해 행해진다. 안전성 검토법은 운전원, 관리책임자, 엔지니어, 안전관리자 등과의 인터뷰를 포함하여 정상운전중인 공장의 운전조건, 운전절차, 유지상태 및 제반사항을 검토조직이 여러 각도에서 철저하게 검사하는 방법이다. 이 방법은 체크리스트나 사고예방질문분석 등 다른 위험성 평가 기법과 병행하여 실시할 수 있는 장점이 있다.

3.2.3 상대위험순위결정기법(Relative Ranking)

사고에 의한 피해정도를 나타내는 상대적 위험순위와 정성적인 정보를 얻을 수 있는 방법으로, Dow and Mord Indices는 화학공장에 존재하는 위험에 대해 간단하고 직접적으로 상대위험순위를 파악 가능케 해주는 지표로서 공장의 상황에 따라 페널티(Penalty)와 크레딧(Credit)을 부여한다. 즉, 페널티는 사고를 일으킬 수 있는 조건에 대해 부여하며 크레딧은 사고의 영향을 완화시키는 요소에 대해 부여하여 페널티와 크레딧을 조합하여 공장의 상대위험 순위를 결정하는 지표를 유도한다.

3.2.4 예비위험분석기법(PHA : Preliminary Hazard Analysis)

예비위험분석기법의 주목적은 위험을 조기에 인식하

여 위험이 나중에 발견되었을 때 드는 비용을 절약하는 것으로서 공장개발의 초기단계에서 적용하여 공장 입지 선정에도 유용하게 활용할 수 있는 기법으로 다른 위험성평가기법에 앞서 실시한다.

예비위험분석기법은 사업초기에 행하여지기 때문에 공정이나 절차에 관한 상세한 정보를 얻을 수 없으며, 주로 위험물질과 주 공정요소에 초점을 맞춘다. 즉 위험물질과 주 공정요소중 위험성에 따른 일반적인 원인, 결과 및 대책을 도출하여 정성적인 목록표를 만들고 경우에 따라서는 위험등급, 발생빈도 및 치명도 구분을 하여 안전확보 대책을 강구하도록 하는 기법이다.

3.2.5 위험과 운전 분석기법(HAZOP : Hazard and Operability Studies)

위험과 운전성 분석법은 설계의도에서 벗어나는 이탈현상을 찾아내어 공정의 위험요소와 운전상의 문제점을 도출하는 방법으로 여러분야의 경험을 가진 전문가로 팀을 이루어서 토론에 의하여 잠재적 이탈현상을 도출한다.

위험과 운전성 분석법 토론에 숙련된 팀리더가 토론을 갖기 전에 일정한 부분(Study Node)을 선정한 후 가이드워드(Guide Words : More, None, Reverse 등)와 공정변수(Process Parameter : Flow, Pressure, Temperature, Composition, Time 등)를 순서대로 결합·제시하여 각 분야 전문가의 토론을 통하여 위험요소와 운전상 문제점을 도출하는 기법이다.

3.2.6 이상위험도 분석기법(FMECA : Failure, Modes, Effects and Criticality, Analysis)

이상위험도 분석법은 공정이나 공장장치가 어떻게 고장났는가에 대한 설명인 Failure Mode, 고장에 대해 어떠한 결과가 발생될 것인가인 Failure Mode의 결과(Effect) 및 Failure Mode에 대한 위험도 순위(Criticality)를 표로 만들어 공정이나 공장장치의 Failure Mode와 Failure Mode의 영향을 파악하는 기법이다.

이 기법은 공정이나 공장장치에 관하여 주안점을 두고 분석하므로 운전자의 실수는 일반적으로 확인되지 않는다.

3.2.7 작업자 실수분석기법(HEA : Human Error Analysis)

작업자 실수분석법은 공장의 운전자, 정비반원, 기술자 그리고 그외의 다른 사람들의 작업에 영향을 미칠 만한 요소를 평가하는 방법으로 사고를 일으킬 수 있는 실수가 생기는 상황을 알아낸다.

기술자와 면담을 하는데 익숙해야 하고 공장의 운전 절차와 공정도 같은 적절한 정보를 다룰 수 있는 분석

자에 의하여 수행된다.

3.2.8 사고예상질문 분석기법(What-if)

사고예방질문 분석법은 정확하게 구체화되어있지는 않지만 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있는 사건을 세심하게 고려해 보기 위한 목적을 가지고 있으며 설계단계, 건설단계, 운전단계, 고장수리단계 등에서 생길 수 있는 바람직하지 않은 결과를 조사하는 기법이다.

공정의 목적을 이해하고 설계의도를 파악할 수 있는 각 분야 전문가의 조직에 의하여 "What if"로 시작되는 질문을 사용하여 공정에 잠재하는 사고를 확인하여 그 위험과 결과 및 위험을 줄이는 방법을 도출하는 것이다.

3.2.9 결합수분석기법(FTA : Fault Tree Analysis)

결합수 분석법은 하나의 특정한 사고에 대하여 원인을 파악하는 연역적 기법으로 사고사건을 초래할 수 있는 장치의 이상과 고장의 다양한 조합을 표시하는 도식적 모델인 결합수(Fault Tree) Diagram을 작성하여 사고사건으로부터 사고를 일으키는 장치 이상이나 운전자 실수의 상관관계를 도출하는 기법이다.

장치의 이상이나 고장의 확률을 대입하면 특정한 사고의 확률 및 손실비용도 계산이 가능한 기법이다.

3.2.10 사건수 분석기법(ETA : Event Tree Analysis)

사건수 분석법은 초기사건으로 알려진 특정한 장치의 이상이나 운전자의 실수로부터 발생하는 잠재적인 사고결과를 평가하는 귀납적 기법으로 초기 사건에 대한 안전시스템의 대응성공 또는 실패에 따른 후속사건을 도식적으로 표시하는 사건수(Event Tree) Diagram으로부터 초기사건으로부터 후속사건까지의 순서 및

상관관계를 파악하여 정량적 가능성을 가진 정성적인 결과를 얻어내는 기법이다.

3.2.11 원인-결과 분석법(CCA : Cause-Consequence Analysis)

원인 - 결과 분석법은 가능한 사고를 평가하기 위해 결합수 분석법과 사

건수 분석법을 혼합한 기법으로 사고결과와 그들의 기본원인 사이의 상호관계를 보여주는 Cause-Consequence Diagram을 사용하여 결과가 예측되는 발생빈도를 정량화 할 수 있으며 가능한 사고결과와 이러한 사고의 근본원인을 알아낼 수 있는 기법이다.

4. 결 론

화학공장의 설비들은 대부분 거대한 자동제어시스템으로 구성되어 있어 각각의 공정마다 고도의 정밀한 기술을 필요로 하기 때문에 화학공장에서 발생하는 산업재해는 몇가지 단순한 원인들에 의해 발생하는 재해가 아닌 여러가지 원인들이 복합적으로 작용하여 사고를 유발하는 시스템 재해가 예상된다. Process Safety management는 공장내에서의 상해와 사고를 방지하기 위한 위험요인의 확인(색출), 식별, 통제에 관리체계를 적용한 것이다. 따라서 공정 또는 설비상에 잠재하고 있는 위험을 체계적으로 제거 및 예방하기 위하여 적절한 위험평가 기법을 선정 활용함으로써 공정이 잠재 위험제거 및 궁극적으로는 사고의 감소로 이어질 수가 있을 것이다.