

화학공장의 화재폭발위험평가

산업분야에 관계없이 대형화재나 폭발은 매우 쓰라린 시련이며 특히 산업별 역사를 살펴볼때 화학산업은 특별한 관심을 끌어들였다. 사고를 당한 경영진은 피해를 입은 플랜트설비의 복구뿐만 아니라 수입격감, 공신력실추 및 부차적손실과 같은 제반문제에 직면하게 된다. 이러한 결과에 대비하기 위해 화학공장은 화재폭발위험을 인지하고 이의 가능한 영향을 평가하여 적절한 손실예방 및 통제대책을 취해야 한다.

산업공정의 위험인지는 공정개발단계에서부터 시작하여 공정작업중에도 계속 실시해야 하는 연속적 활동이다. 조기위험인지는 최소한의 비용과 시간으로 위험경감방안을 취할 수 있게 한다. 사실상 잘못된 설비의 개조를 위해서는 대수선이나 많은 추가설비를 필요로 하는 경우가 많으므로 안전조치가 설비내에 포함되도록 설계하는 것이 바람직하다. 이러한 설계시에 고려해야 할 중요사항은 다음과 같다.

- 위험이 적은 재료의 사용이 가능한가? (예, 용매추출시 헥산대신에 액화이산화탄소를 사용한다.)
- 위험물의 재고량을 줄일 수 있는가? (예, 불필요하게 많은양의 Cl_2 , CS_2 및 기타 화학물질의 저장량을 최소화시킨다.)
- 공정은 정상상태와 유사한 조건에서 작업이 가능한가?

현재 가동중인 플랜트에 대해 이상과 같이 문제점 해결을 시도하는 것은 공정설계시에서와 같이 많은 도움이 되지 않는 것이다. 그러나 위험개선은 경영관리의 연속적인 업무사항이므로 가동중인 플랜트에 대해서도 마찬가지로 위험인지와 이에 따르는 수선 및 손실통제방안의 개선을 필요로 한다.

플랜트가 계획단계이던 진행중이던지에 관계없이 위험인지는 임의적 또는 우연적인 현상이 아니라 개발되어 있는 여러기술기법중 한 두종류 또는 더 많은 기법을 이용하는 체계적인 사고(思考)이다. 또한 오늘날의 복잡한 기술과 자본 집약적 플랜트에 있어서 사고가 발생하기까지 기다려 이 사고형태를 분석한 뒤에 잠재적 위험을 인지해 내는 것은 불가능하다. 반면에 손실이 발생되기 전에 잠재적인 사고형태와 결과를 인지하여 적절한 조치를 취해야만 하는 것이다.

모든 위험인지기법이 모든 상황에 적합하지는 않다. 그러므로 중요한 것은 특정상황에서 사용 가능한 적절한 기법을 선택해야 한다. 또한 기술도구의 복잡성도 필요한 시간, 요청되는 팀의 규모, 입력정보 및 전문성에 따라 각각 다양하다. 어떠한 기법을 사용하던지 단 한번에 전체플랜트에 대한 체계적인 위험인지작업을 수행하는 것은 일반적으로 불가능하다. 그러므로 첫번째 단계는 플랜트를 여러부분으로 분할하여 이들의 손실가능성을 경험적으로 평가한 후 정밀검사를 요하는 취약부분을 찾아내야 한다.

I. 위험인지 기법(HAZID METHODS)

수년에 걸쳐서 여러 위험인지 기법들을 개발하여 사용하고 있는데 이중 몇 가지를 보면 정밀안전진단(Safety Survey), 정기안전점검(Safety Inspection), 종합안전검사(Safety Audit), 과실계통도분석(Fault Tree Analysis), 위험지수(Hazard Indices), 위험과 가동성연구(HAZOP) 등이 있다. 이들 기법은 각기 특성이 달라 어떠한 것은 경험을 바탕으로 한 반면 어떠한 것은 매우 기본적 원리에 따르며, 일부는 정량적 및 정성적 평가를 한 반면

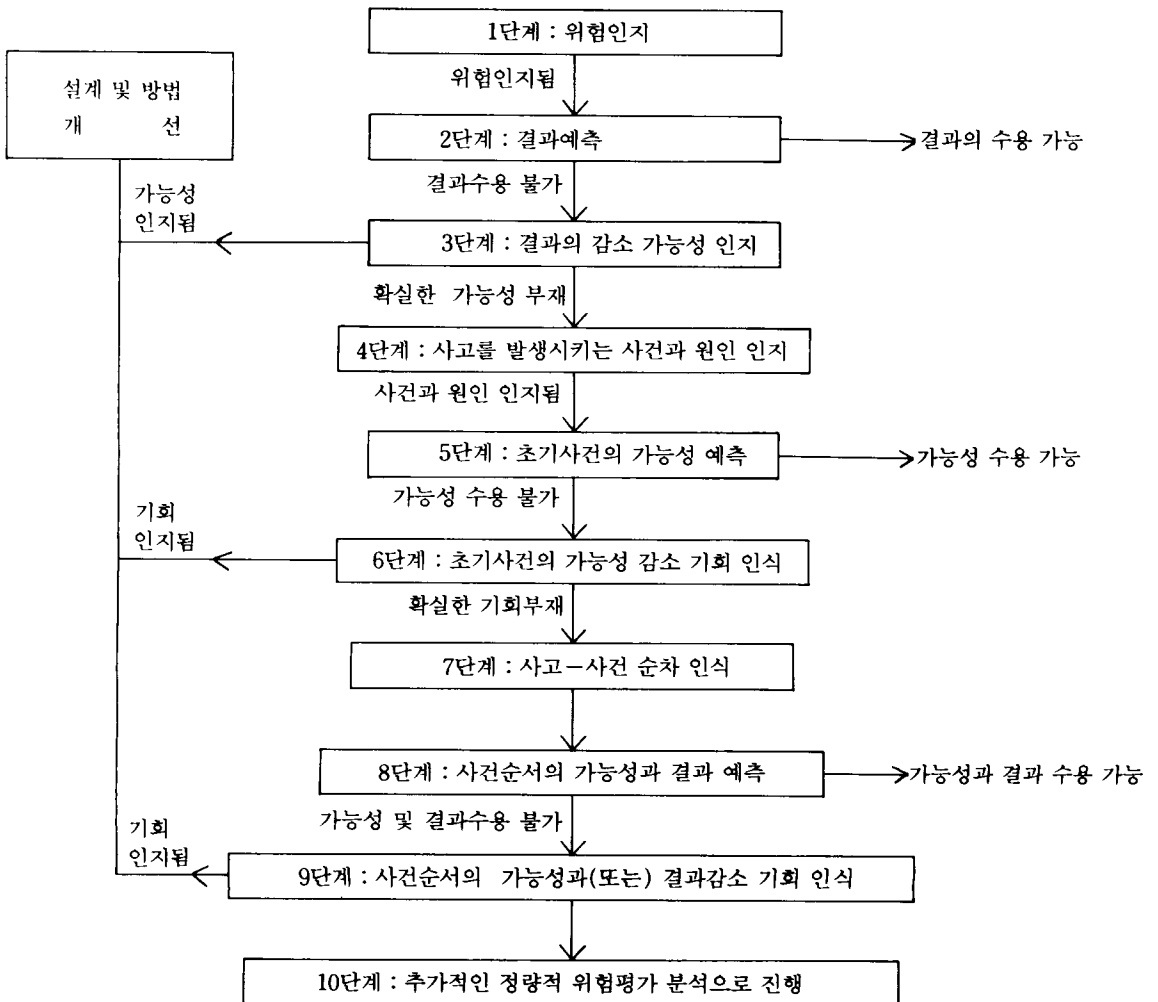
일부는 정성적 평가만을 하도록 되어있다. 일부는 일인팀 작업으로 하루나 이틀정도가 필요한 반면 일부는 오랫동안의 팀 작업을 요한다. 또한 일부는 관찰력에만 의존하는데 반해 어떠한 기법은 많은 입력정보를 필요로 한다. 그러므로 경영진은 조직의 이익을 위해서 위험인지작업을 시작하기 전에 필요사항의 분석과 필요재원(시간, 인력, 입력정보 등) 평가도 함께 하여야 한다.

위험의 인지, 평가 및 통제에 대한 두 가지 기본적 접근방법은 다음과 같다.

- 우수한 성능효과
- 예상위험평가(PHE)

첫번째 방법은 작업시와 유지관리 등의 측면에서 우수한 성능을 인정받은 유사한 플랜트와 공정을 조사분석하여 성능상태와 권장기준들을 조사하는 내용으로 구성된다. 체크리스트(Checklist)와 안전검사는 이러한 두 가지 절차과정으로서 허용기준과 우수성능기준으로부터의 차이점을 인지해 내는데 이용된다. 두번째로 예상위험평가 방법은 새롭거나 또는 상이한 공정, 설계, 설비와 같은 경험이 부족한 경우를 위해 개발되었다.

예상 위험 평가의 단계(Steps in Predictive hazard Evaluation)



위험인지기법(HAZID) 일부내용을 보면 다음과 같은 방법이 있다.

① 정밀안전진단(Safety Survey) : 특정 플랜트의 특정한 공정방법과 같은 협소범위에 대한 세부적검사를 실시하는 것을 말한다.

② 정기안전점검(Safety Inspection) : 자체검사자에 의해 계획에 따라 실시하는 자체검사이다.

③ 안전검사(Safety Tour) : 생산 책임자나 안전 책임자와 같은 외부인에 의해 실시되는 예정외의 검사이다.

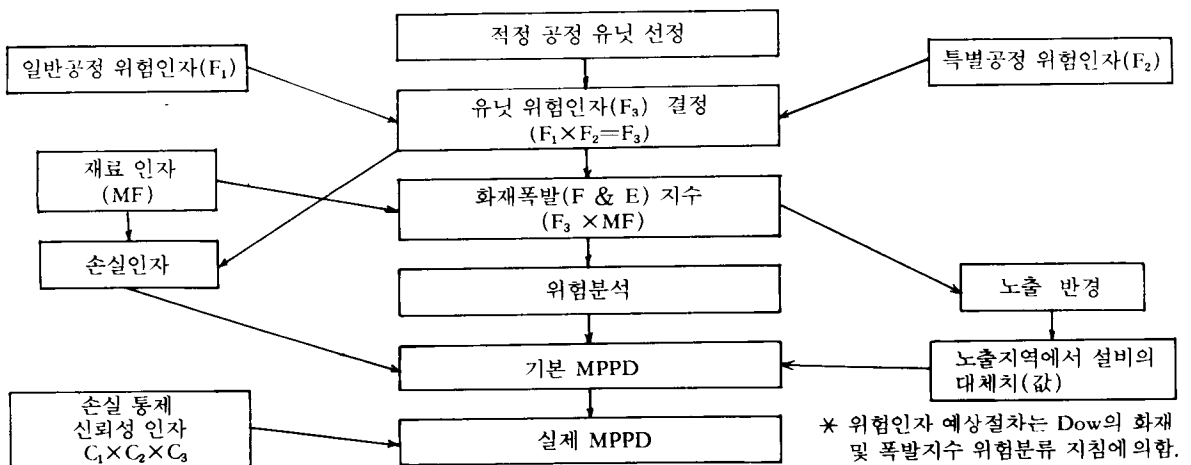
④ 특별안전검사(Safety Sampling) : 사고 가능성을 측정하기 위해 특별목적을 가지고 안전검사나 정기안전점검을 실시하는 경우를 말한다.

⑤ 종합안전검사(Safety Audit) : 특정활동에 대한 전반적 측면에서 기준을 상세히 검사·평가한다. 이에는 복잡한 기술적 사항과 비상시 조치방법에서부터 비밀취급인가증, 작업내용 설명서, 영선관리 및 작업태도에 이르기까지 다양하다. 또한 이는 하나의 플랜트에만 국한시킬 수도 있고 전체회사를 대상으로 할 수도 있다. 감사팀(Audit Team)은 직접적으로 관련이 있는 사람들로써 구성하되 새롭고 편견이 없는 안목을 구하기 위해 여러분야의 전문가들과 검사지역에 직접관련을 갖지 않는자로서 경험이 풍부한 기술진의 협조를 얻는다. 종합안전검사의 주요 요소는 다음과 같다.

- 손실 가능성을 야기시키는 상황의 인지
- 예상손실의 평가
- 손실 최소화대책 추출
- 대책의 실시
- 대책실시에 의한 변경사항의 검사

⑥ 위험지수(Hazard Indices) : 공정시설에 대한 손실가능성을 상대적으로 등급화시킬 목적으로 개발하였다. Dow화학사(Dow Chemical)의 방법은 화재폭발지수(F & E)와 최대가능손실(MPPD)의 산정을 가능케 하는데, 인화성 가연재 또는 인화성 반응재료를 저장, 취급, 또는 처리하는 장소에서의 모든 작업은 이 Dow화학사(Dow Chemical)의 방법을 이용하여 평가할 수 있다. 그러나 이 방법은 발전소, 사무실건물 또는 물을 공급하거나 취급하는 설비에는 적용할 수 없다. Dow지수는 또한 화재나 폭발을 발생시킬 수 있는 특정 초기사항을 알려 주거나 독성물질의 취급상 위험을 고려하지는 않는다. Dow지수의 한 발전형태인 Mond지수(Mond Index)는 더욱 다양한 재료와 공정에 적용 가능하지만 진행중인 위험인식에 대해서는 명확하지 않다.

위험인자 산정절차 예(Procedure for calculating unit hazard factor)



종합안전검사(Safety Audit) 기준 예

화재안전 및 산업위생

검사구분	불량	보통	양호	매우양호
1. 화학위험 통제지침	참고 지침데이터 미사용 및 지식부족	지침데이터가 있고 필요 시 감독자에 의해 사용됨	"보통"조건에 추가로 필요시 추가적인 기준을 의뢰하여 왔음.	테이타가 게시되어 있고 필요시 이에 따름. 추가적인 기준을 관련종업원과 함께 마련하고 재검토하여 게시함
2. 인화성 및 폭발물질 통제	저장시설이 화재규정에 어긋남. 컨테이너에 내용물 명칭 부재. 인정받은 공급 장치를 사용하지 않음. 제조작업장에 허용량을 초과한 부분이 있음.	일부 저장시설이 최소한의 화재규정에 따름. 대부분의 컨테이너에는 내용물 명칭을 표시함. 일부 인정받은 공급장치를 사용함.	저장시설이 최소한의 화재규정에 따름. 대부분의 컨테이너에는 내용물 명칭을 표시함. 인정받은 장치를 일반적으로 사용함. 작업장소로 공급되는 양은 하루에 필요한 양으로 제한됨. 컨테이너는 인정받은 저장용기내에 보관함.	"양호"조건에 추가로 저장시설을 최소 화재규정보다 우수하게 설비함. 컨테이너에는 항상 내용물 표기가 되어있음. 인화성물질의 취급, 저장 및 사용의 통제에 관해 강력한 정책이 명백히 시행됨.
3. 통풍설비 - 증기, 연기 및 먼지통제	통풍율이 산업 위생 기준에 미달됨.	노출지역에서의 통풍율이 최소규정에 따름	"보통"조건에 추가로 통풍율이 정기적으로 측정되고 기록되어 인정수준으로 유지됨.	"양호"조건에 추가로 설비는 적정하게 선정되었으며 최대효율에 가깝게 유지됨.
4. 피부오염통제	피부 부작용 노출조건 통제 또는 제거를 위한 시도를 하지 않음.	작업자 보호를 위한 불완전한 프로그램이 있음. 피부문제에 대한 응급처치 기록을 원인규명을 위해 개별적 차원으로 추적함.	대부분의 작업자에게 피부 부작용물질에 대한 교육을 실시함. 작업자에게 인정받은 개인보호장비를 제공함. 보호장비사용은 의무적임.	모든 작업자가 피부 부작용물질에 대해 알고 있고 인정받은 개인 보호장비를 제공받음. 적절한 장비의 사용이 의무적이고 유지관리를 위한 시설이 있음. 작업자에게 피부를 수시로 세척하도록 고무시킴. 손상기록은 좋은 통제상태를 나타냄.
5. 소방대책	최소한의 보험사 또는 자체 규정보다 미달됨.	최소한의 규정에 따름	"보통"조건에 추가로 추가적인 소방호스와 / 또는 소화기를 보유함. 용접허가증을 발부함. 모든 용접차에는 소화기를 보유함.	"양호"조건에 추가로 작업자는 비상조적으로 구성되어져 있고 비상시 절차와 소화설비 사용방법에 대해 교육을 받음.
6. 폐기물 - 쓰레기수거 및 처리, 공기 및 불의 오염	통제방법이 부적절함.	해로운 쓰레기 및 폐기물 처분에 대한 일부통제가 됨. 통제대책이 있으나 수거 및 처리 방법 또는 절차가 비효율적임. 연구의 필요성이 있음.	대부분의 폐기물 처리문제가 인지되어져 있으며 통제프로그램이 마련된 상태임. 개선의 여지가 있음.	폐기물 처리위험이 효율적으로 통제됨. 공기 및 물오염가능성이 최소화됨.

⑦ HAZOP(Hazard and Operability Study) : 공정인자(Process Parameters)의 편차효과를 분석하여 시설물내의 위험뿐만 아니라 작업문제점을 인지할 수 있는 유용한 체계적 기법이다. HAZOP는 다음과 같은 기본원리에 바탕을 둔다.

- 계획에 의한 설계조건을 포함하여 공정에 대한 완벽한 설명내용의 입수
- 설계내용과의 편차가 발생할 수 있는 가능성을 찾아내기 위한 전체공정의 체계적 검사
- 상기 편차내용이 위험과(또는) 작업문제점으로 진전할지의 여부 결정

이상과 같은 원리는 작업중인 공정플랜트나 또는 설계도중에 있는 플랜트에도 적용가능하다. 그러나 HAZOP를 수행하기 전에 이의 목적을 먼저 명확히 기술하여 효율적 팀구성과 올바른 입력정보를 수집할 수 있도록 해야한다.

⑧ 과실계통도분석(Fault Tree Analysis : FTA) : 도표를 이용하여 특정결과를 발생 가능한 사건이나 결함의 모든 순차나 조합을 보여주는 것이다. 이는 모든 가능한 결함이나 시스템결함의 원인을 포괄하지는 않지만, 바람직하지 않는 사건을 발생시킬 수 있는 신뢰성이 높은 경로에 초점을 맞춘다. 과실계통도(FT)는 최상위 사건이 경험, 구상력, 체크리스트 및 사고이력 등에 바탕을 두고 결정되면 위험인지방법으로 사용할 수 있다. 즉 최상의 사건의 결정에 따라서 여기에 이르게 되는 경로가 밝혀진다. 이와는 다른 목적으로 과실계통도(FT)는 기타기법에 의해 인지된 사항에 대해 구성하여 봄으로써 인지사항이 올바른가를 증명하는데 이용될 수 있는데 이는 매우 효율적이다. 또한 과실계통도분석(FTA)기법은 올바른 입력정보만 확보가능하다면 정량화를 할 수 있다.

⑨ 사전위험분석(Preliminary Hazard Analysis : PHA) : 시스템내의 잠재위험조건을 인지하여 이 결과에 의해 발생할 수 있는 사고의 심각성과 위험성을 대중 또는 직원에 미치는 안전측면에서 평가한다. 이는 대체적으로 시설물의 개발단계에서 수행하며 인지된 위험을 적은 비용에 의해 효과적으로 통제할 수 있도록 설계변경 또는 이의 대책을 마련할 수 있게 한다. 이를 단계별로 보면,

첫번째 체크리스트(Checklist)를 이용하여 공학적인 경험이나 판단에 의해 잠재적 위험요소를 인지해 낸다.

두번째는 위험한 상태를 잠재사고로 바꾸어 놓을 수 있는 사건은 어떠한 것이 있는가를 결정한다. 마지막으로 상기 사항에 의해 결론을 도출시킨다.

II. 위험의 정량화 및 처리

위험정량화는 나쁜 영향이나 또는 잠재적인 나쁜영향을 가진 사건의 발생가능성 또는 빈도수로 정의된다. 위험정량화의 첫번째 목적은 중요위험원인에 초점을 맞추어 경제적이고 효과적인 위험감소대책을 마련하고자 하는데 있다.

위험정량화에 가장 큰 문제점은 불완전성과 불확실성이다. 그리고 잠재적 사고위험(Hazard)이 인지된 후에만 위험(Risk)의 정량화가 가능하다. 또한 이의 적용에는 팀의 경험, 지식과 직관에 많이 의존하게 된다. 그러나 이는 진실한 팀의 필요성을 강조하는 것이지 위험정량화 원리자체가 유명무실하다는 것은 아니다.

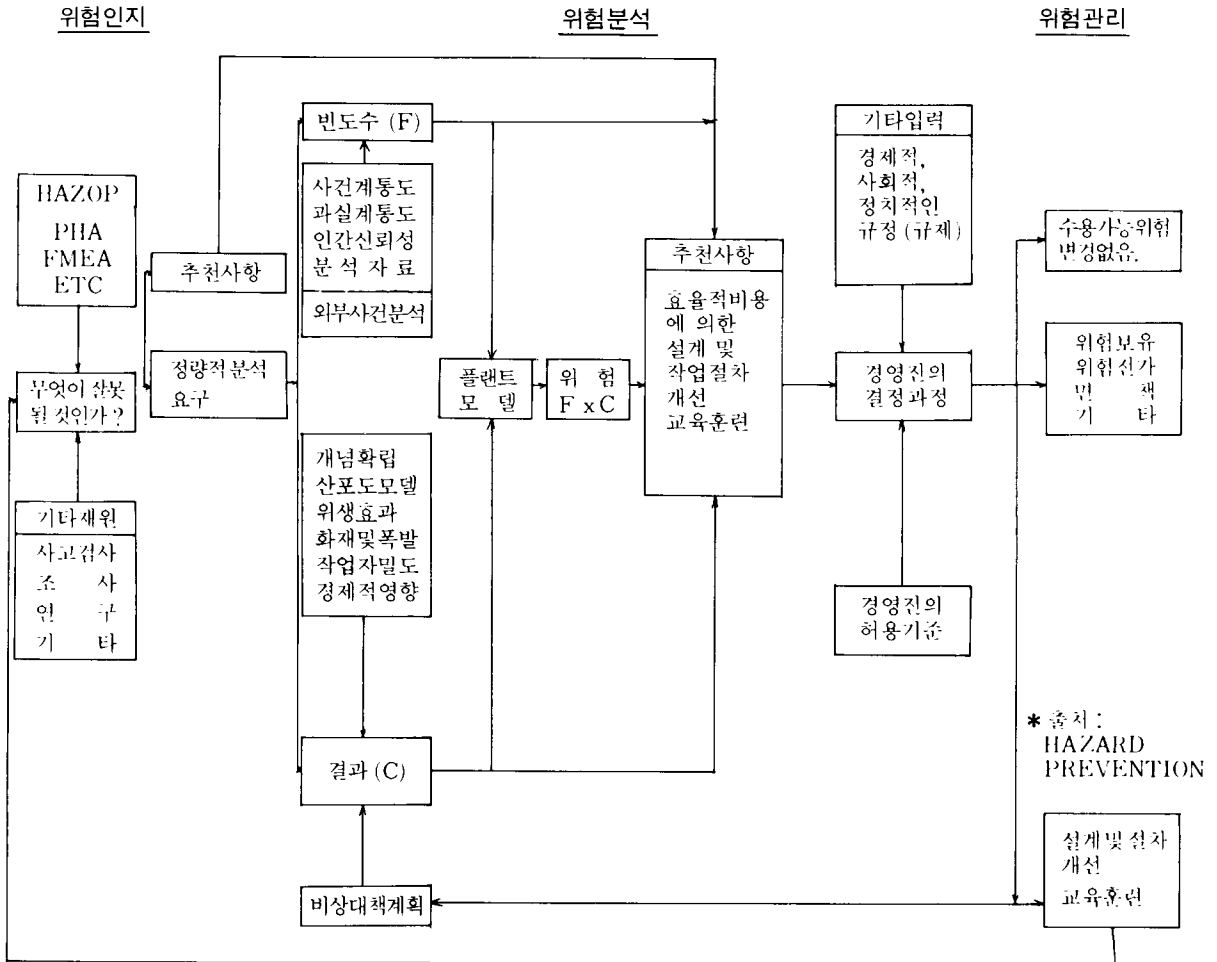
공정 또는 시스템의 안전정도는 사고의 가능성과 사고 결과에 의해 가장 잘 알 수 있다는 것이 오늘날의 일반적인 중론이다. 그러나 계산에 의한 위험정도치를 바탕으로 한 안전상태를 받아들이는 문제에 대해 결정을 해야 하는 경우에는 혼동과 논쟁이 있게 된다. 이 이유는 잠재적사고위험(Hazard)을 인식하고 위험(Risk)을 전문가들이 정량화(위험분석의 객관적 영역)한 후에도 가치판단을 필요로 하는 위험평가(Risk Appraisal)라는 주관적인 영역이 여전히 존재하기 때문이다.

위험의 수용성에 대해서는 다음과 같은 사항에 유의해야 한다.

- 안전은 견지(見地)의 문제이다. 즉 책임을 가진 개인, 사회 또는 단체의 입장에 따라 달라지는 문제이다.

- 위험분석(Risk Evaluation)은 위험의 특성에 따른다. 즉 위험이 자발적인지 비자발적인지 또는 이들의 중간 단계인지의 여부에 따라 달라진다.
- 위험평가(Risk Appraisal)는 상기 두 가지점을 바탕으로 하여 위험기준을 정량화 할 필요가 있다.

위험관리에 대한 전반적인 접근방법
(Overall Approach to Risk Management)



기본적으로 위험인지는 위험분석 및 위험관리에서 중요한 단계인 반면에 위험개선대책을 필요로 하는 위험통제로서 해석될 수는 없다. HAZID는 프로젝트개념으로 시작해야 하고 플랜트 전체 수명기간을 통해서 각기 다른 형태로 꾸준히 실시해야 한다. 공정설계에 대한 HAZID연구는 위험통제에 대한 조직의 정보지식을 공정개발과 설계단계 동안에 적용하여 왔는지를 알아보는 것이다. 이는 또한 플랜트의 안전한 작동절차를 구성하는데도 도움을 준다. 그러나 HAZID방법은 다른 단계에서도 역시 사용하여야 하고 특히 개수를 할 경우에는 꼭 이용하여야 한다.