

연구자료

화학연93-5-28

화학설비에서의 위험성 예비분석 기법에 관한 연구

1993. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION

산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산업안전연구 개발” 사업의 일환으로 수행한
“화학설비에서의 위험성 예비분석 기법에 관한 연구”의 최종
보고서로 제출합니다.

1993년 12월 31일

주관연구부서 : 산 업 안 전 연 구 원
화 학 연 구 실

책 임 자 : 화학연구실장 정 동 인

연 구 자 : 선임연구원 조 지 훈

머 리 말

화학공장은 대형화와 고도의 자동시스템가 특징으로 운전, 검사, 보수 등에 숙련된 경험을 필요로 하며 조업시에 사용하는 위험물질이 많아 대형사고의 잠재성을 지니고 있다. 따라서 화학공장 개발의 초기 단계에서 안전에 대하여 고려하는 것은 위험성의 감소와 안전대책 및 개발 도중의 개선으로 인한 비용절감의 효과도 얻을 수 있으므로 필수적이다.

그러나 국내에서는 체계적인 방법을 실시하지 않는 경우가 많고 설비를 가동하면서 문제점을 발견하거나, 사고가 나면 안전진단을 실시하여 설비를 개조·보완하는 방법을 행하여 비능률적인 경우가 많고, 기존단지를 확장하거나 신·증설해야 할 때 설계 단계에서 위험성에 대한 적절한 조치를 취하지 못하거나 외국기술자의 자문을 받는 방법을 취하게 되어 상대적으로 기술축적이 미약한 실정이다.

한편, ILO는 '93 총회에서 중대산업사고 예방을 위한 협약을 정식으로 채택하였는데, 위험성 평가가 이의 핵심사항이나 아직까지는 산업현장에서 위험성 분석·평가의 실시가 체계적이지 않아서 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구원 화학연구실에서는 체계적인 위험성 평가 연구의 일환으로 화학설비에서의 위험성 예비분석을 하기 위한 작업표의 양식과 작업표의 작성 방법, 그리고 준비 사항 및 분석의 절차와 결과 처리 등에 대하여 기술함으로서 설계의 초기 단계에서 위험성 평가를 하는데 활용할 수 있도록 하였다.

위험성 예비분석 방법이 사업장에 보급되어 사내 교육시 기술자료로서도 사용되고 위험도 평가를 위한 참고자료로서 활용할 수 있게 되기를 기대한다.

1993. 12.

산업안전연구원장

목 차

제 1 장 서 론	3
1. 연구목적	3
2. 연구기간	3
3. 연구범위 및 내용	4
제 2 장 위험성 예비분석의 개요	5
1. 목적 및 내용	5
2. 분석절차	7
제 3 장 작업표 양식	11
1. 작업표 양식 비교	11
2. 각 항목의 내용	12
제 4 장 위험성 예비분석의 실행	15
1. 분석 대상의 정의	15
2. 분석 내용	21
3. 결과의 논의	26
4. 사후조치 사항	28
5. 관측 결과와 결론	28

제 5 장 결 론	31
-----------------	----

참고문헌	32
------------	----

제 1 장 서 론

1. 연구목적

화학공업은 설비의 대형화와 고도의 자동시스템으로 이루어져 있어 운전, 검사, 보수 등에 숙련된 경험을 필요로 하며 사용하는 위험물질이 많아 대형사고가 일어날 잠재성을 지니고 있다. 따라서 화학공장 개발의 초기 단계에서 안전에 대하여 고려하는 것은 위험성의 감소와 안전대책 뿐만 아니라 개발 도중의 수정으로 인한 비용을 절감할 수 있으므로 필수적이다.

그러나 국내에서는 이에 대하여 체계적인 방법을 실시하지 않는 경우가 많고 설비를 가동하면서 문제점을 발견하거나, 사고가 나면 안전진단을 실시하여 설비를 개조하거나 보완하는 방법을 행하여 비능률적인 경우가 많고, 기존단지를 확장하거나 신·증설해야 할 때 설계 단계에서 위험성에 대한 적절한 조치를 취하지 못하거나 외국기술자의 자문을 받는 방법을 취하게 되어 상대적으로 기술축적이 미약한 실정이다.

또한 ILO에서 중대산업사고 예방을 위한 협약이 채택되었는데 이의 취해야 할 위험성 평가 방법 중에 위험성 예비 분석 기법이 포함되어 있다.

따라서 본 연구에서는 화학설비에서의 위험성 예비 분석 기법에 대한 체계적인 방법론을 기술함으로써 재해방지와 ILO의 국제협약 도입에 따른 기반 조성에 기여하고자 한다.

2. 연구기간

1993년 3월 ~ 1993년 12월

3. 연구범위 및 내용

위험성 평가 기법 중 정성적 위험성 평가에 속하는 위험성 예비분석법은 공장 개발의 초기 단계에 실시하는 기법으로서 이의 수행절차에 대하여 기술하고 분석에 필요한 작업표의 양식에 대하여 조사하였다. 그리고 위험성 평가를 실시할 평가대상과 분석 내용 및 분석에 필요한 사항, 그리고 결과에 포함되어야 할 내용 등을 기술하여 화학설비에서의 위험성 예비분석을 체계적으로 실시하는데에 활용할 수 있도록 하였다.

제 2 장 위험성 예비분석의 개요

1. 목적 및 내용

위험성 평가는 사고를 일으킬수 있는 잠재성을 지닌 기계적 결함과 인간 실수를 분석하는 기법으로서 사고의 가능성이 있는 원인을 찾아내거나 설비의 변경 및 개선, 정비, 시험, 검사 등에서 주요 설비의 안전성을 확인하기 위한 공정 안전 관리 기술로 활용되며, 의사 결정자에게 변경 등에 관한 판단의 자료로도 활용된다.

위험성 예비 분석법은 정성적 위험성 평가의 일종으로 원래는 설계의 초기 단계에서 위험성을 일찍 찾아내어 나중에 발견하여 드는 비용을 절감할 목적으로 개발된 것이다. 이 분석법은 다른 위험성 평가 방법보다 우선하여 실시하는 것으로서 많은 화학공장에서 조금씩 다른 이름으로 점검을 실시하며 초기 단계에서 공장 부지를 선정하는데 매우 유용하다.

공장 설계의 초기 단계에서는 설비나 공정에 대한 상세한 정보를 얻을 수 없으므로 취급하게 될 위험물질과 주요 플랜트 요소에 집중하여 행해지고, 설비나 공정의 위험성에 대한 간단한 개관을 제공한다. 단위 공정에 대한 설계 기준과 표준, 장치 그리고 물질 명세서를 포함한 정보의 입력이 요구되며 전형적으로 1~2명의 경험있는 기술자에 의하여 수행된다. 원래의 목적 외에 보다 상세한 분석을 위한 예비 분석으로서 시스템의 중요도에 따른 분류를 통하여 우선적인 평가 선택에 이용할 수도 있고, 단순한 단계에서 보다 상세한 위험성 평가를 수행하는데 이용될 수도 있다.

위험성 예비 분석법을 실시하면 취급하는 물질과 장치, 운전 환경 등에 관련된 위험성을 찾아내어 위험성 목록을 작성하도록 한다. 각각의 위험성을 찾아내면

잠재적인 위험 원인과 사고의 영향, 그리고 가능한 설비나 운전절차의 개선 방안 또는 안전대책을 기록한다. 때때로 위험도를 산출하기 위하여 실현 가능성이 있는 각각의 사고에 대한 가능성(또는 빈도)과 심각도 등으로 나타낸 정량적 위험도 산출이 이루어진다. 위험도 추정은 설비나 권장사항의 중요 우선도를 나타내기 위하여 위험도를 기본으로 하여 사용될 수도 있다.

위험도 예비분석은 경험있는 기술자에 의하여 빠르게 수행될 수 있고, 위험성을 보다 일찍 찾아낼 수 있으며 미숙련 기술자도 얼마간의 효과를 볼 수 있는 장점이 있다. 반면에 정보가 전부 준비되어 있지 않은 초기 단계에서 행하기 때문에 포괄적인 위험성 분석을 할 수 없다는 단점이 있다.

위험도 예비분석을 실시하기 위하여 필요한 자원은 분석할 시스템의 크기와 복잡성, 그리고 전에 분석한 적이 있는 비슷한 시스템의 존재 여부에 따라 다르지만 평가에 필요한 최소 자원은 다음과 같다.

- ㄱ. 원료 물질, 중간 물질, 최종 물질과 그들의 반응성 등(MSDS)
- ㄴ. 주요 장치 형태
- ㄷ. 운전 목적 및 환경
- ㄹ. 수행상 필요물
- ㅁ. 과거의 유사하거나 관련있는 설비, 공정, 제어, 운전 등에 대한 지식과 경험이 있는 사람 1~2인을 포함하여 총 3~4명 정도의 인원

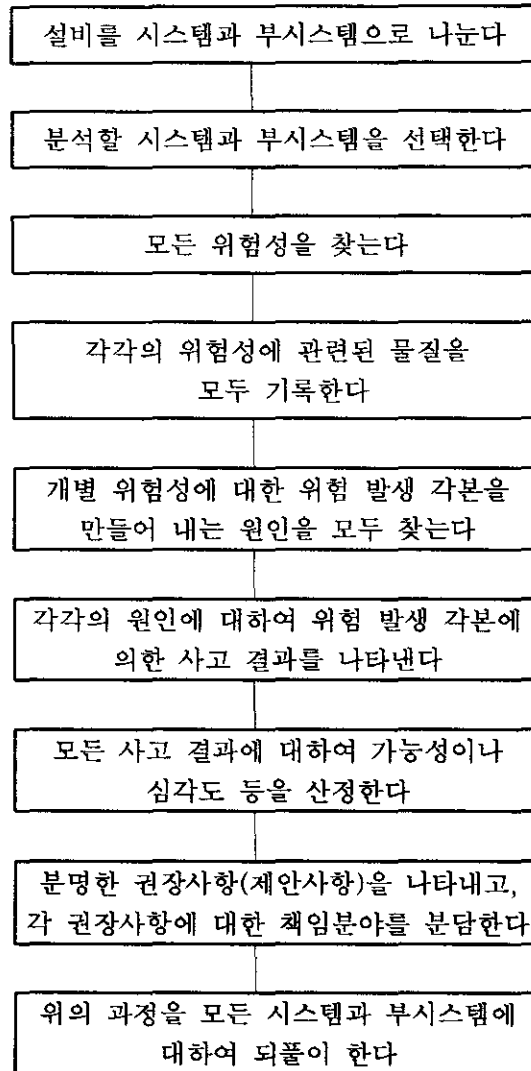
실시에 소요되는 기간은 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 위험성 예비분석에 필요한 소요기간

평 가 대 상	준 비	평 가	문 서 화
간단하고 작은 공정	4~8 시간	1~3 일	1~2 일
복잡하고 큰 공정	1~3 일	4~7 일	4~7 일

2. 분석 절차

위험성 예비분석을 실행하는 절차는 [그림 2-1]과 같다.



[그림 2-1] 위험성 예비분석의 실행 절차

가. 설비의 분리

설비를 중요도의 순서에 따라 나누고 분석을 한쪽으로 집중하여야 한다. 설비를 공정 지역, 건물, 단위 설비 등으로 나누면 간편하게 분리할 수 있다. 분석 결과의 질은 사용 목적과 시스템의 복잡성, 정보량의 다소에 따라 달라진다. 다음의 세밀한 평가를 위한 예비 단계로 이용하고자 할 때는 간단한 단계로 진행되어 조잡한 해석 결과가 된다. 그러나 상세한 분석을 하고자 할 때는 더욱 세밀한 단계로 진행되어 해석 결과의 질이 높아진다. 이때 분석자는 분석 목적과 상황에 따라 자유로이 선택할 수 있다.

나. 시스템과 부시스템의 선택

각각의 시스템은 대부분 여러 개의 부시스템으로 구성되어 있다. 위험성 예비 분석은 부시스템 단계에서 수행된다. 일반적으로 정의된 순서대로 시스템을 선택하고 그 시스템내의 순서에 따라 부시스템을 선택한다. 한 시스템내의 부시스템의 분석이 모두 끝나게 되면 다음 시스템으로 넘어간다. 이 순서는 보통 공정 흐름을 따르게 된다.

다. 위험성 탐색

평가 목적에 부합되는 범위내에서 각 부시스템에 대하여 위험성을 찾아야 한다. 일반적으로 나타나는 위험성으로는 가스 화재, 액체 화재, 고체 화재, 개방 폭발(unconfined explosion), 용기내 폭발(confined explosion), BLEVE, 분진 폭발, 독성 가스의 누출, 액체 독성 가스 및 고체 독성 가스의 누출 등이 있다. 이때 부시스템에서 취급하는 물질을 고려하는 것이 위험성을 찾기에 쉬운 방법이다. 이 정보의 자료원으로서 물질 안전 데이터 시트(MSDS)가 일반적으로 이용된다.

라. 잠재적 위험성을 지닌 위험물질의 목록화

각각의 잠재적 위험성을 나타내는 위험물질의 이름을 모두 찾아낸다. 일반적으로 하나의 위험성에 대하여 여러 가지 위험물질이 관련되어 있다.

마. 원인 탐색

실제 사고로 발전할 수 있는 가능성이 있는 각각의 위험성에 대한 원인을 모두 찾아낸다. 일반적으로 각각의 위험성에 대하여 여러 가지 원인이 존재할 수 있다. 이 원인들은 장치의 결함, 인간 실수, 외부 사건 등으로 분류될 수 있을 것이다.

바. 사고 결과의 탐색

평가 목적에 부합되는 범위내에 있는 사고 결과를 각각의 원인에 대하여 찾아낸다. 위와 마찬가지로 각각의 원인별로 사고 결과가 달라지게 될 것이고 각각의 원인에 대하여 여러 가지 사고 결과가 존재할 것이다.

사. 심각도와 가능성 수치 결정

여러 단계로 구성하여 수치를 배정하는 것이 좋다. 예를 들면 4~5단계로 구분하는 것이 좋다. 이 단계에서의 목적은 평가 목적에 부합하는 심각도와 가능성 수치를 배정하는 것이다. 심각도는 사고가 일어났을 때, 그 결과가 미치는 영향의 정도를 나타내고 가능성은 그 사건이 일어날 가능성을 말한다. 여기에서 심각도와 가능성을 함께 고려하여 위험정도를 등급으로서 나타낼 수도 있다. 심각도와 가능성의 값은 각각의 사고 결과에 대하여 배정하며 이들 값은 각각의 사고 결과와 원인에 따라 다른 값을 지닐 것이다. 심각도는 사고 결과의 산출에 의거하여 결정되고, 가능성의 수치는 원인의 예측을 근거로 하여 결정된다.

아. 권장사항 탐색

권장사항은 책임질 사람이나 분야와 함께 분명하게 작업표 상에 기록되어야 한다. 위험성 예비 분석 팀은 특별히 토의가 평가 목적이지 않는 한 권장사항을 토의하지 않는다. 권장사항중 어떤 사항은 지체없는 실행이 뒤따라야 되는 것도 있음을 주지하여야 한다.

자. 모든 시스템에의 반복 실행

모든 시스템과 부시스템에 대하여 위의 과정을 되풀이하여 실시한다.

제 3 장 작업표 양식

1. 작업표 양식 비교

위험도 예비분석에 필요한 작업표의 양식은 대표적으로 AIChE의 CCPS에서 낸 “Hazard Evaluation Procedures”에서 제시된 것과 Primatech Inc.에서 만든 양식으로 각각 <표 3-1>과 <표 3-2>에 나타내었다.

<표 3-1> CCPS의 작업표 양식 예

Area :

Meeting Date :

Drawing Number :

Team Members :

Hazard	Cause	Major Effects	Hazard Category	Corrective Action/ Preventive Measures

두 양식이 큰 차이는 없이 비슷하다. CCPS의 작업표 양식보다 Primatech Inc.의 작업표 양식이 세밀하게 표시되어 있음을 알 수 있다. 뒤의 것은 위험성을 나타낼 수 있는 위험물질을 넣는 항이 따로 있고, 위험성 분류항이 세분되어 있

<표 3-2> Primatech. Inc.의 작업표 양식 예

Company :

System :

Facility :

Page :

Session :

Revision :

System :

Subsystem :

Dwg #

Hazard	Material	Causes	Consequences	S	L	R	Recommendations	Remarks	BY

다. 위험성 분류항에서 S는 심각도를, L은 가능성을, R은 위험 등급을 수치로 표시하도록 되어 있다. CCPS의 위험성 분류와 Primatech Inc.의 작업표 양식상의 R이 동일한 항목이다. 그러나 앞의 작업표는 숫자가 높을수록 위험성이 큰 것을 나타내고, 뒤의 작업표는 숫자가 낮을수록 위험성이 크다는 것을 나타낸다.

2. 각 항목의 내용

작성 순서는 맨 왼쪽 항목부터 적기 시작하여 오른쪽 항목으로 나아가는데, 오른쪽 항목은 왼쪽의 항목에 속해 있는 것들이다. 맨 왼쪽의 항목인 위험성은 독성 물질의 누출, 가연성 물질의 화재, 폭발 등을 적는다. 그리고 위험물질은 앞의 위험성에 관련된 물질을 모두 적는다. 원인은 위험성을 일으키는 원인으로써 용기의 파열, 공급 라인의 누설 등을 적는다. 주요 영향과 사고 결과는 동일한 항

목으로서 앞의 원인으로 일어날 수 있는 사고 결과를 반응기내의 화재, 작업자 상해 등으로 적는다. 위험성 분류는 CCPS의 작업표 양식에서는 I~IV까지 표시한다. Primatech Inc.의 양식에서는 S는 사고 결과의 심각한 정도를 1~5까지로 나타내고, L은 사고가 일어날 가능성으로서 1~5까지로 표시한다. R은 이 둘을 종합하여 등급을 매기는 것으로서 보통 1~4의 등급으로 나타낸다. 위험 등급의 한 예를 나타내면 다음과 같다.

- ㄱ. 파국적 - 환경, 인간 실수, 절차의 결함, 설계의 특성, 부시스템이나 요소의 고장 또는 기능 불량 등으로 시스템의 성능을 현저히 저하시키며 그 결과로 인하여 시스템의 손실, 사람의 사망 또는 다수의 부상자를 내는 상황을 초래하는 위험
- ㄴ. 중대(위험) - 환경, 인간 실수, 절차의 결함, 설계의 특성, 부시스템이나 요소의 고장 또는 기능 불량 등으로 시스템의 성능을 저하시키며 그 결과로 인하여 사람의 부상 또는 장치에 대한 중대한 손상을 초래하거나 또는 사람의 생존 및 시스템의 존손을 위하여 즉시 개선 조치를 취하여야 하는 상황을 초래하는 위험
- ㄷ. 한계적 - 환경, 인간 실수, 절차의 결함, 설계의 특성, 부시스템이나 요소의 고장 또는 기능 불량 등으로 시스템의 성능을 저하시키지만, 사람의 부상 및 시스템의 중대한 손상을 초래하지 않고 대처할 수 있거나 제어할 수 있는 상황이 나타나는 위험
- ㄹ. 무시가능(안전) - 환경, 인간 실수, 절차의 결함, 설계의 특성, 부시스템이나 요소의 고장 또는 기능 불량 등이 시스템의 성능을 그다지 저하시키지 않으며, 시스템의 기능이나 손상 및 사람의 부상도 초래하지 않는 상황이 되는 위험.

권장사항은 위험성을 없애거나 감소시킬 수 있는 설비의 변경, 안전장치의 설

치, 가스 감지기의 설치 등의 사후에 처리해야하거나 검토를 요하는 사항을 적는 항목이다. 마지막 항목은 수행해야 할 사람이나 부서를 나타낸 것이다.

제 4 장 위험성 예비 분석의 실행

1. 분석 대상의 정의

가. 배경

가나다 화학회사는 VCM 공장 개발을 진행시키기로 결정했다. 연구 개발 단계에서 수행된 What-If 분석은 관리할 수 없는 위험성을 찾아내지 못했다. 이 검토에서 제안된 사후처리는 VCM 공정에서 검출되는 위험성을 다루기에 적합한 사람을 고용할 것을 나타내었다. 판매 전망과 관련한 이 정보는 VCM 계획이 시장성이 있음을 가나다 관리에게 확신시켰다.

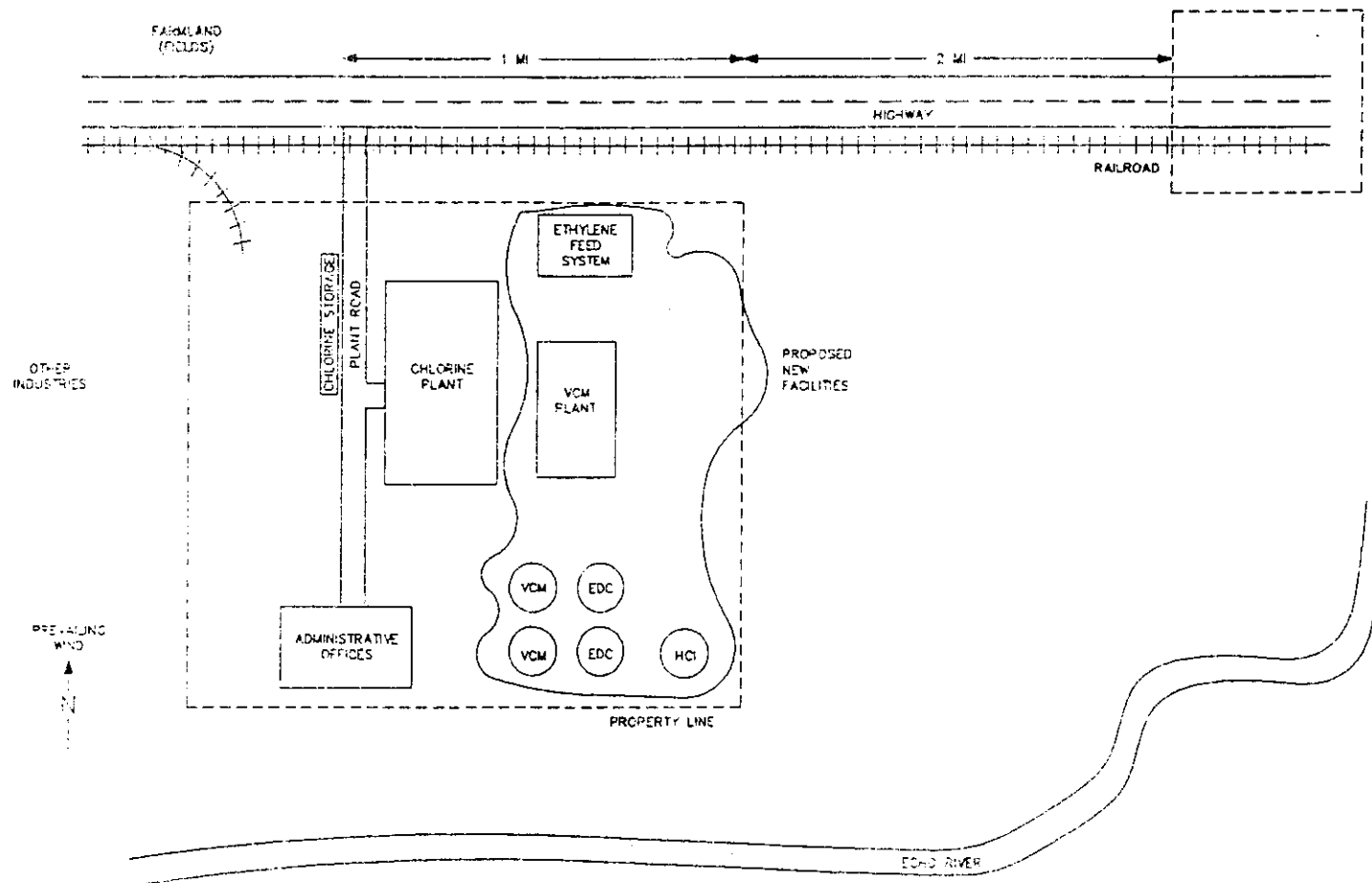
가나다화학은 제안된 VCM 플랜트를 위한 부지로서 그들의 염소 플랜트 지역을 선택하였다. 이 염소 플랜트는 안전 담당자와 기술 담당자가 제안한 플랜트와 매우 비슷한 것으로 연구개발 단계의 What-If 분석동안 새로운 플랜트 위치로 가정되었던 곳과는 다른 부지이다. 그 장소의 부지는 여러 가지 이유로 가나다화학의 다른 플랜트 부지 대신에 선택되었다.

ㄱ. 가장 가까운 인구 집단이 작다(다른 가나다 회사의 다른 플랜트 부지에 비해서)

ㄴ. 이 부지는 상대적으로 에틸렌 공급라인에 가깝다.

ㄷ. 이 부지는 새로운 플랜트에 편의를 도모할 충분한 특성을 가졌다.

VCM 플랜트에 관한 부가적인 정보가 임시적 플랜트 배치도([그림 4-1])를 포함하여 이 개발 계획에 유용하다. 가나다의 기술자들은 기존 플랜트의 동쪽에 염소 플랜트를 위한 여분의 대지가 있는 곳에 VCM 플랜트를 세우기로 하였다. 이 부지가 선택된 이유는 다음과 같다.



[그림 4-1] VCM 플랜트 배치도

ㄱ. 행정사무실과 플랜트 사이를 분리하기에 충분한 면적이 있다.

ㄴ. 가나다 회사가 기존에 구입해 놓은 자산이다.

ㄷ. 에틸렌 공급을 하기에 편리하다.

이 새로운 정보를 입수하고, 사업팀은 다른 위험성 평가가 필요하다고 결정지었다. 사업팀은 공정상의 추가 위험성에 대하여 알기를 원했고, 또한 제안된 VCM 플랜트 부지에 집중하여 위험성 평가를 실시하기를 원했다. 사업팀은 화학담당자에게 이 노력을 다시 해줄 것을 권장했다. 그가 그 계획을 잘 알고 전의 검토에서 훌륭히 일을 했기 때문이다. 그러나 화학담당자는 사업팀에게 새로운 관점이 필요하다는 것을 확신했다. 그래서 회사의 공정위험성 분석 그룹으로부터 위험성 분석 전문가가 이 위험성평가를 이끌기 위해서 선택되었다.

나. 필요 자원

VCM 플랜트는 아직 설계되지 않았다. 그러나 기술부서는 위험성 분석 전문가에게 예비플랜트 배치도([그림 4-1])를 공급하였다. 기술부서와 연구개발부는 또한 다음의 것들을 공급하였다.

ㄱ. 원료, 중간생성물, 최종생성물의 예비목록(<표 4-1>)

ㄴ. 플랜트 내의 주요 장치의 예비목록(<표 4-2>)

ㄷ. VCM 개발 계획에 대한 R&D 보고서

ㄹ. EDC와 VCM에 대하여 미리 수집한 문헌

ㅁ. 이전의 위험성 평가로부터 얻은 What-If 분석 결과

ㅂ. 염소플랜트와 연결될 시스템의 예비목록

위험성 분석 전문가는 염소플랜트 장소에 대한 정보도 요구했다. 특별히, 그는 플랜트에 대한 비상 계획 절차, 안전 장치, 그리고 긴급 폐쇄 연동 장치에 대하여 문의하였다. 이 정보는 기술자에 의해 그 플랜트 장소에서 수집될 것이다.

<표 4-1> VCM 플랜트에 있는 물질의 예비목록

Ethylene	H ₂ O
Chlorine	경탄화수소
Ethylene Dichloride	중탄화수소
Vinyl Chloride Monomer	천연가스
Hydrogen Chloride	

<표 4-2> VCM 플랜트의 주요 장치

장	치	명	대수	화학물질	크 기
직접	염소화	반응기	1	Chlorine	대(액체)
압	축	기	1	Ethylene	중(가스)
불	탱	크	4	EDC, VCM	대(액체)
저	장	탱 크	1	HCl Acid	대(액체)
증	류	탑	4	EDC, VCM, HCl, 경탄화수소, 중탄화수소	대(액체/가스)
축	열	기	*	EDC, VCM, HCl	중(액체)
	로		1	EDC, VCM	중(가스)
소	각	로	1	혼합물	중(가스)

* 아직 결정되지 않았음

다. 위험성 평가 기법의 선택

사업팀은 위험성 평가 방법의 선택을 위험성 분석 전문가에게 맡겼다. 그러나 그들은 What-If 분석은 이미 실행했던 것이므로 불가피한 경우가 아니면 선택하지 말 것을 요청했다.

위험성 분석 전문가는 일반적으로 쓰이는 다양한 위험성 평가 방법을 잘 알고

있다. 공정이 아직 완전히 정의되지 않았으므로, 그는 곧 HAZOP 분석, FMEA, 결합수 분석법, 사상수 분석법, 원인-결과 분석법, 인간 신뢰도 분석법 등을 제외시켰다. 또한 사용하기에 적절한 체크리스트가 준비되어 있지 않았기 때문에 체크리스트 분석도 제외시켰다. What-If 분석은 가능하지만 이미 수행된 것이므로 선택하지 않았다. 그래서 Relative Ranking과 위험성 예비분석만 남았다. 이들 중에서 한 방법을 선택하는 것은 어려운 판단을 요한다. 두 방법 모두 사용될 수 있지만, 위험성 예비분석법이 Relative Ranking 방법보다 위험성을 찾기에 더 적합하고 위험성 분석 전문가가 위험성 예비분석법을 더 많이 해왔었기 때문에 위험성 예비분석법을 선택하였다.

라. 평가 준비 사항

위험성 분석 전문가는 위험성 예비분석법을 도울 2명의 기술자를 추가로 선택했다. 한 사람은 회사의 기술부서에서 일하는 가나다에 근무하는 공정 위험성 분석가이다. 그는 VCM과 에틸렌에 대하여 전의 기술자와 얼마간 함께 일한 경험이 있기에 선택되었다. 공정 위험성 분석가와 위험성 분석 전문가는 회사내에서 같은 일을 하는 그룹내에 있다.

또 한 사람은 염소 플랜트에 근무하는 경험있는 공정 기술자로서 팀의 또 다른 구성원이다. 공정 기술자는 염소 플랜트에 있는 단위 공정에서 많이 일했고, 작업자, 운전, 안전 그리고 비상계획 실행과 플랜트 부지의 배치도에 대해서 매우 잘 안다.

사업팀 인원은 분석에 참여하지 않을 것이다. 사업팀의 의견이 반영되고 위험성 예비분석이 그들의 목적을 만족시키기 위하여 위험성 분석 전문가는 이러한 문제를 논의하고, 위험성 예비분석이 수행되는 것을 설명하기 위하여 사업팀 인원 중 화학 담당자를 만난다.

위험성 예비분석을 위한 준비로서 위험성 분석 전문가는 공정 위험성 분석가와 공정 기술자에게 위험성 예비분석을 알리는 메모를 보냈다. 메모에 있는 정보는 다음을 포함한다.

- ㄱ. 분석하기 위한 날짜, 시간, 회의 장소
- ㄴ. 위험성 예비분석의 목적에 대한 설명
- ㄷ. 분석팀 구성원이 점검해야 할 이전의 위험성 평가, R&D 보고서, 예비 기술적 검토의 복사본

첫번째 만남은 분석 대상 지역으로 결정하였다. 그것은 사업팀이 부지에 대한 특별한 관심을 가지고 있고, 위험성 분석 전문가와 공정 위험성 분석가는 그 플랜트 부지를 본 적이 없었기 때문에 회의장소로 선택되었다.

분석을 위한 모임이 있기 전에 위험성 분석 전문가는 약 하루를 VCM 계획에 대한 정보를 점검한다. 이 점검을 기초로 하여 그는 위험성 예비분석을 하는 동안 질문할 얼마간의 자료(<표 4-3>)를 만든다. 그는 또한 분석팀의 회의시 사용할 몇 장의 위험성 예비분석 작업표를 준비한다.

<표 4-3> 위험성 예비분석을 위한 예비 질문사항

-
- 설치 예정 장소에서 가장 가까운 주거지역은 얼마나 가까운가?
가장 가까운 동일 공업지역은?
 - 플랜트의 동쪽이어야 하는 이유는? 다른 쪽은 안되는가?
 - 염소의 대형 누출 사고에 어떤 비상 행동을 취하는가?
 - 강의 범람이 플랜트 부지를 위협하지는 않는가?
 - 그 위치에서의 바람형태는?
 - 어떤 종류의 방재가 공장내에서 유효한가? 외부에서는?
-

2. 분석 내용

위험성 예비 분석은 다음의 일을 포함한다.

- ㄱ. 염소 플랜트 지역과 제안된 VCM 부지의 짧은 시찰
- ㄴ. 제안된 VCM 플랜트에서의 분석팀의 회의
- ㄷ. 위험성 예비분석 결과의 검토

분석 대상 지역을 시찰하는 것을 위험성 예비분석에 포함하지 않을 수도 있다. 그러나 지금의 경우는 위험성 분석 전문가와 공정 위험성 분석가가 그 플랜트에 대해 잘 알지 못하므로 짧은 시간 동안의 시찰(예 ; 1 시간)은 적절한 것이다. 공정 기술자의 안내로 실시된 이 시찰을 통하여, 분석팀은 기존의 염소 플랜트에 있는 장치와 인원의 위치, 그리고 VCM 플랜트를 위하여 제안된 장소 등을 주의하여 살핀다. 그들은 또한 어떤 용급장치(예 ; 가스경보기, 소화전 등)가 유용하고 그 장치가 설치된 장소가 어떠한지 등을 집중하여 살핀다.

시찰 후에, 분석팀은 분석을 시작하기 위하여 플랜트 회의실에 회합한다. 위험성 분석 전문가가 위험성 예비분석은 그날 남은 시간에 행할 것이고, 휴식은 필요할 때 취해지고, 간식과 점심은 회의실내에서 할 것이라고 설명한다. 그리고 나서, 다른 사람들에게 위험성 예비 분석 기법을 간략하게 설명한다. 분석을 위한 검토를 하는 동안 작성하여야 할 작업표를 팀 구성원에게 보여주고, 위험성 분류의 정의를 설명하고 나서, 그들에게 위험한 상태의 원인으로 발생하는 시스템 상호의 영향과 2차원적인 장치 결합에 대해서도 고려할 것을 주지시킨다. 위험성 분석 전문가는 또한 위험성 예비분석을 규칙에 맞게 순서대로 할 것을 요구한다. 그가 위험성을 제안하면 그때 맨 앞에서 뒤 끝까지 원인을 찾고, 영향을 찾고, 개선을 위한 제안을 하는 순서대로 분석을 실시한다. 마지막으로 위험성 분석 전문가는 VCM 제조 공정의 간략한 개관을 나누어 주고 나서 분석을 시작한다.

다음은 위험성 예비분석 회의 내용을 일부 발췌한 것이다.

위험성 분석 전문가 - 위험성으로서 독성 누출부터 시작합니다. 플랜트내로 에틸렌 공급을 시작할 때 어떤 것이 사고 가능성이 있는 원인일까요?

공정 위험성 분석가 - 하지만 에틸렌은 독성이 아닙니다. 오히려 질식제나 가연성 위험성이 더 많습니다.

위험성 분석 전문가 - 좋습니다. 그 위험성은 후에 다루고 다른 독성 물질을 고려합니다. VCM 플랜트에 염소가 어떻게 연결됩니까?

공정 기술자 - 내가 알고 있기로는, 액체 염소가 VCM 플랜트에 파이프로 보내질 것입니다(R&D는 염소 반응 수율이 액체 염소 사용시 더 크다고 하였다). 플랜지나 가스켓 누설이 염소를 누출하게 할 것이지만 아마도 아주 작은 양일 것입니다. 파이프 파열 -말하자면 크레인 재해에 의한 -은 많은 양의 염소를 누출할 것입니다. 봉쇄된 라인내에서 열팽창은 또한 가스켓이나 밸브패킹을 끊어지게 하거나 라인을 파열할 수 있습니다.

공정 위험성 분석가 - 아마도 라인 폐쇄를 고려해야만 합니다. 그것이 크레인 문제에 대한 해결책입니다.

위험성 분석 전문가 - 잠깐만, 문제로 다시 돌아갑시다. 개선을 생각하기 전에, 이 상황이 얼마나 나쁘게 되고 방호 수단이 마련되어 있는지에 대한 아이디어를 얻어 봅시다.

공정 기술자 - 예. 풍향에 좌우되지만, 여러 운전자나 사무실 빌딩 인원이 높은 염소 농도에 폭로될 수 있습니다. 그러나 우리가 그 장소에서 가질 수 있는 방호 수단은 다음의 것들이 있습니다. ① 필드 요원은 방독마스크와 자체 마련된 호흡기를 곁에 준비할 수 있습니다. ② 단위 공정내에 안전피난처의 설치 ③ 모두 용접되고 X-ray 검사된 배관 ④ 배관의 팽창실 ⑤ 염소 가스 검지기와 지역내 경보, 그리고 ⑥ 플랜트 요원의 연소 누출에 대해 대응하

는 훈련. 계속할까요 ?

위험성 분석 전문가 - 주민에 대한 폭로는 어떤가요 ?

공정 기술자 - 가장 가까운 곳에 있는 주민은 동쪽으로 1.5 마일에 있습니다. 우리의 비상계획은 이 문제를 알리는 것입니다.

위험성 분석 전문가 - 우리가 염소 공급라인에서 취해야 할 특별한 예방조치를 알려주시겠습니까?

공정 기술자 - 우리는 VCM 플랜트가 어느 기간동안 정지된다면 그 라인이 비워 있게 되는 것을 확실하게 할 필요가 있습니다.

공정 위험성 분석가 - 라인 단절에 대해서는 어떻게 생각하십니까? 그것은 얼마나 고립시킬 수 있습니까?

공정 기술자 - 라인 파열이 일어났을 때 이송을 위한 어떤 종류의 연동 장치와 함께 확실한 잠금 밸브가 필요합니다. 반면에, VCM 플랜트 요원은 또한 염소 누출에 대한 비상 계획 절차를 배워야만 하고 개인 방호 장치를 가져야만 할 것입니다. 또한 VCM 플랜트가 갑자기 폐쇄된다면 우리는 염소 플랜트가 이 충격을 제어할 수 있는 것을 확실히 해 두어야 할 필요가 있을 것입니다.

공정 위험성 분석가 - 염소 공급 라인을 폐쇄하는 것에 대해서는 어떻게 생각하십니까?

공정 기술자 - 그것은 좋은 생각이 아닙니다. 염소 누출이 짧은 시간내에 크게 되는 경향은 매우 작습니다. 오히려 언제나 파이프를 볼 수 있고 빨리 작은 누출을 찾아낼 수 있을 것입니다.

위험성 분석 전문가 - 나는 작업표 상에 이 일을 적겠습니다. 이 분석을 시작할 때 보여주었던 위험성 분류를 사용하기 위하여, 당신은 라인 누설과 라인 파열이 얼마나 되는 분류에 속할 것 같습니까?

공정 기술자 - 작은 염소 누출은 말하지 않겠습니다. 그것은 문제가 없습니다.

나는 누출은 분류 1이라고 하겠습니다. 파열의 경우는 꽤 심각합니다. 그것은 4라고 생각합니다.

공정 위험성 분석가 - 나도 그것이 타당하다고 생각합니다.

위험성 분석 전문가 - 예. 거기에 대하여 다른 의견이 없다면 다음으로 갑시다.

[첨목]. 다음의 주요 장치 항목은 직접 염소화 반응기입니다.

공정 기술자 - 액체 에틸렌과 염소가 이 반응기에서 ethylene dichloride를 만들기 위하여 함께 섞입니다. 그리고 반응은 발열이지요.

위험성 분석 전문가 - 예. 맞습니다.

공정 기술자 - 그것도 폭발할 수 있습니까 ?

위험성 분석 전문가 - 나도 모르겠습니다. 기술부서에서 최악의 경우에 대비한 안전장치를 설계할 것으로 믿습니다. 어쨌든, 우리는 그것이 일어날 수 있다고 가정해야 합니다. 그렇지만, 그들에게 적합한 설계에 관련하여 결론지어야 합니다.

공정 기술자 - 반응기 안에 염소가 얼마나 들어있습니까? 그리고 온도는 얼마입니까?

위험성 분석 전문가 - 개발 계획은 그 질문들에 대답하기에 충분한 자료를 가지고 있지 않습니다. 그러나 10ton은 넘지 않을 것입니다만, 온도에 대해서는 전혀 모르겠습니다.

공정 기술자 - 만약 반응기가 위험한 상태로 간다면, 높은 농도의 염소가 어느 곳인가 폭로될 수 있습니다. 약 15년전에 회사는 염소의 대형누출을 염려하여 저장탱크를 옮기고 플랜트 도로의 서쪽편으로 울타리를 하여 막았습니다. 이것은 명백히 분류 4의 위험성에 해당합니다. 환경부서에서 이 안의 실행을 촉구하는 어떤 연구를 해야 한다고 생각합니다. 어쨌든, 이 연소반응기도 같은 처지인 것 같습니다.

위험성 분석 전문가 - 안전장치로는 무엇이 있을까요?

공정 위험성 분석가 - 우리는 아직 반응기가 무엇을 함유할지 모릅니다. 반응폭
주를 막을 적절한 연동장치를 넣어야 한다고 생각합니다. 그러나 만약 반응
폭주가 중단되지 않는다면, 커다란 염소와 에틸렌 누출이 있을 것입니다. 염
소가스 감지기는 어떻습니까?

공정 기술자 - 감지기는 염소플랜트 안쪽에 있는 선택된 장소에 있을 것입니다.
만약 도시쪽으로 바람이 분다면 감지기는 염소를 감지하지 못합니다. 만약
반응기의 파열판이 부서지거나 안전밸브가 열린다면, 우리는 아마 그것을 들
을 수 있을 것입니다.

위험성 분석 전문가 - 그래서, VCM 플랜트를 플랜트 도로의 서쪽으로 옮길것을
제안하는 건가요?

공정 위험성 분석가 - 반응기에서 염소의 대형누출을 묘사한 환경집단모델을 사
용하면 사고결과가 무엇인지 알 수 있습니다. 만약 주민에 대한 폭로량이 받
아들일 수 없을 정도라면, 그때 그 플랜트를 서쪽으로 옮길 것에 동의합니다.

공정 기술자 - 나는 그 플랜트를 바로 옮겨야 한다고 생각합니다. 액체염소 배
관이 이미 거기에 있고, 따라서 거기에는 파이프 파열에 대한 새로운 위험은
없습니다. 추가되는 거리는 도시를 보호하는데 도움이 될 것이고, 서쪽에 있
는 주변공업은 가스누출에 대한 대응에 보다 잘 준비되어 있습니다.

위험성 분석 전문가 - 플랜트를 서쪽으로 옮긴다면, 아마도 대지를 좀더 구입해
야만 할 것입니다. 나는 당신들의 지적 사항을 모두 기입할 것입니다. 플랜
트를 옮기는 것은 사업팀에게 결정하도록 합시다. EDC 볼테크로 점토를 옮
깁시다. 그것들도 독성누출에 기여할까요?

이 논의는 독성누출의 원인을 위하여 주요 장치 항목을 전부 검토할 때까지 이
러한 양상으로 계속한다. 그리고 나서 위험성 분석 전문가는 분석팀을 VCM공정

의 시작부분으로 되돌아가서 가연성 물질의 누출 원인에 대하여 집중하여 검토하도록 한다. 그 공정도 순서대로 검토된다. 분석팀은 VCM플랜트를 같은 방법으로 여러번 순환한다. 각각 새로운 위험성의 원인을 찾고 (예, 분해, 폭주반응, 극저온 영향) 그리고 이러한 위험성을 전하는 권장사항을 낸다(다른 분석자들은 한 부분에 있는 모든 위험성을 확인하고 나서 다른 부분으로 옮기는 식으로 위험성 예비 분석을 완성하는 방법을 선택할 수도 있다).

위험성 예비분석 검토의 마지막에서, 위험성 분석 전문가는 분석 결과를 작업표에 기입할 것을 말하고, 그것들을 팀구성원들에게 검토를 위하여 2주 안에 보낸다. 그들의 견해를 받은 후에 그는 사업팀에게 보고서를 보낼 것이다.

3. 결과의 논의(Discussion of Results)

<표 4-4>는 위험성 예비분석 결과의 한 예를 나타낸다. 이 작업표는 고려한 위험성, 그 위험성들의 원인, 그리고 회사가 고려해야만 하는 개선 행위와 방호수단에 대한 제안을 포함한다. 앞서 실시한 What-If 분석에서 위험성을 평가할 때 고려한 안전장치에 대해서는 위험성 예비분석에서 고려되었어도 기록하지는 않았다. 제안된 개선 조치를 위한 사후처리 담당 인원도 할당하지 않았다. 그것은 위험성 예비분석팀이 인사 권한을 갖고 있지 않았고, 담당하기에 적절한 요원을 알지 못하기 때문이다. 위험성 분석 전문가는 이 활동을 사업팀에게 넘겼다.

이 작업표에 부가하여, 위험성 분석 전문가는 간략하게 실행한 것에 대한 요약 을 준비할 것이다. 그리고 위험성 예비분석에 참가한 사람들을 적고 또한 무엇을 검토했고, 발견한 주요 사항이 무엇인지를 적을 것이다. 이 위험성 예비분석의 결과는 VCM플랜트의 설계자에게 매우 유용할 것이고, 계획의 초기단계에서 부적합함을 고칠 수 있는 여지를 그들에게 줄 것이다.

<표 4-4> VCM 플랜트 개발을 위한 위험성 예비분석의 예

지역 : VCM 플랜트

회의 일자 : 1993. .

도면 : [그림 4-1]

팀 구성원 : 김(지도자), 이(기술부서), 박(플랜트)

위험성	원 인	주 요 영 향	위험성 분류,등급	권장사항/제안사항
독성 누출	1.염소라인가 스켓/패킹누수	1.공장내의 소규모 염 소 누출	I	1. 없음
	2.염소라인 파 열	2.대규모 염소누출, 공장내 심한 충격, 외부에 잠재 위험	IV	2a. VCM플랜트가 정지할 때마다 염소라인이 비 위있는지를 확인할 것. 2b. 파열사고시에 라인을 확실하게 고립시킬 밸 브와 연동장치를 준비 할 것 2c. 염소누출에 대비하여 VCM플랜트직원을 훈 련시킬 것 2d. VCM직원에게 PPE를 준비하도록 할 것 2e. 염소배관을 묻지말것
	3.직접염소화 반응기발열	3.대규모 염소/EDC/ 에틸렌 누출 반응기 크기, 운전 조건,외부충격에 의 함	IV	3a. VCM플랜트를 플랜트 도로의 서쪽으로 옮 기는 것을 고려할것 3b. 염소의 공장내 영향을 평가할 분산연구를 수행할 것 3c. 안전시스템이 이 누출 을 조절할 수 있는지 확인할 것

4 사후조치 사항

위험성 예비분석팀이 제출한 보고서는 개선을 위한 여러 제안이 포함되어 있다. 얼마간 해결되지 않은 것도 있는데, 이것은 사업팀이 해결할 사항이다. 사업팀은 필요한 인원을 충당하는 것에 대한 분담과 각 문제가 해결되도록 하는데에 책임이 있다. 사업팀이 검토하고 승인한 개선사항은 가나다화학내에서 VCM개발 계획의 적합한 인원으로 통과되었다.

플랜트 도로의 서쪽에 VCM 플랜트 부지를 두자는 제안은 즉시의 처리를 요한다. 받아들인다면, 회사는 플랜트 도로의 서쪽에 있는 대지를 빨리 사들이기 시작해야 한다. 이러한 행위는 VCM 개발 비용을 증가시킬 것이고, 건설을 지연시킬지도 모른다. 사업팀은 동쪽부지에 관련한 염소누출의 사고결과 산출을 요구했다. 그러나 회사내의 공정 위험성 그룹은 현 설계단계에서 그와 같은 평가를 수행하기에는 취급 화학물질량이나 공정 조건 등에 관한 정보가 너무 적다고 알려왔다.

조건이 비슷한 다른 플랜트에서 실시된 염소분산분석연구(위험성 예비분석 실시 후에 받음)에 대한 검토를 기본으로 위험성 분석 전문가는 VCM 플랜트가 동쪽에 위치하면 공장 외부에 심각한 영향이 있을 수 있다고 사업팀에 보고했다. 그래서, 사업팀은 서쪽부지를 추천했다.

5 관측 결과와 결론

위험성 예비분석팀은 제안된 VCM 플랜트에서 찾아낸 위험성을 전하기 위한 여러 제안을 제시하였다. 보다 중요한 제안의 일부는 다음과 같다.

7. VCM 플랜트를 플랜트 도로의 서쪽 지역으로 옮기는 방안을 고려할 것.
(이것은 분산분석결과에 좌우될 것이다)

- ㄴ. EDC, VCM, HCl 저장탱크는 Echo강에서 떨어진 곳에 둘 것(분석팀은 강의 범람과 수로에의 누출을 염려하였다)
- ㄷ. EDC, VCM, HCl 물품의 공장내 저장을 최소화한다. 이것은 단위공정에 밀접하게 연결된 어떤 장치의 교환이 필요할 것이다.
- ㄹ. 가연성물질의 누출을 알리기 위하여 플랜트 비상계획을 수정할 것.
- ㅁ. 플랜트내의 소방수 시스템이 제안된 VCM 플랜트를 위하여 충분한 용량이어야 하고 폭발에 대하여 방호되어야 한다.

여러가지 관측결과가 이 PHA에 관련하여 만들어질 수 있다. 그것들은 다음을 포함한다.

- ㄱ. 부가적인 위험성(독성물질, 가연성물질 등)은 나타나지 않았다. 그러나 제안된 VCM 플랜트가 회사의 다른 설비가 있는 곳에 위치된다면 새로운 위험성이 만들어질 것이다. 이것은 제안된 플랜트와 기존의 플랜트사이의 상호작용에 의한 것일 것이다.
- ㄴ. 위험 상황에 대한 많은 원인이나 사고 결과는 장치의 위치와 관련이 있다. 결과적으로 많은 제안이 장치를 옮기는 것을 포함하고 있다.
- ㄷ. R&D나 What-If분석에서 찾을 수 없었던 여러 가지의 새롭고 특별한 위험상황이 찾아졌다(예, 강의 범람, 철도 차량의 재해). 이전의 What-If 분석은 그것이 실행될 시기에 부지나 플랜트 배치도에 대한 정보가 존재하지 않아서 그러한 상황을 찾아낼 수 없었을 것이다.
- ㄹ. 경험있는 사람의 위험성 예비분석팀에의 구성이 검토의 성공에 대한 핵심이었다. 특히, 많은 양의 독성물질이 플랜트 도로의 서쪽에 저장되어 있다(즉, 염소저장)는 공정 기술자의 기억은 불필요한 부지작업을 하는 것으로 부터 회사를 도와주었다.

PHA를 수행하는데 걸리는 시간은 원칙적으로 중요하지 않다. 왜냐하면 그 계

획은 설계의 초기단계에 있었기 때문이다. <표 4-5>에 이 위험성 예비분석을 위하여 요구된 기간을 요약하였다.

요약하면, 위험성 예비분석팀은 위험상황의 많은 원인을 찾았다. 그것은 VCM 플랜트 설계자가 새로운 설비를 배치할 때 고려할 것이다.

지금 이러한 위험성을 알리는 것이 플랜트가 안전하게 되도록 할 것이며, 회사가 추후에 비용이 많이 드는 부지나 공정 등의 변경을 피할 수 있도록 하였다.

<표 4-5> 위험성 예비분석 구성원의 분석 소요시간

요 원	준 비 (시간)	분석 검토 (시간)	문 서 화 (시간)
팀 지도자	8	8	12
팀 구성원(평균)	1	8	2

제 5 장 결 론

화학공업은 설비의 대형화와 자동화, 그리고 복잡성으로 인하여 사고의 발생빈도는 낮으나 사고가 발생하게 되면 막대한 재산과 인명 피해를 낼 뿐만 아니라 주변 지역에 미치는 영향으로 인하여 사회적 파급효과 크다. 그러므로, 설비를 개발하거나 개선하고자 할 때 체계적인 위험성 평가를 통하여 실시함으로써 사고의 가능성을 줄이고 나중에 추가 비용이 드는 것을 막을 수 있게된다.

따라서 본 연구에서는 개발 초기에 위험성 평가를 실시하여 사고의 발생 가능성을 줄이고 재해를 완화하는데 활용될 수 있도록 위험성 예비 분석법에 대한 방법을 조사·기술하였는데 이에 대한 중요 사항과 향후 추진되어야 할 사항은 다음과 같다.

1. 위험성 예비 분석은 적은 인원으로 짧은 기간 내에 실시할 수 있고, 초기의 설계단계에서 실시하여 위험성을 찾아내고 그에 대한 대책을 세울 수 있다. 따라서 설비의 건축후나 설비의 운전중에 수리를 하게 되는 경우보다 위험도가 감소되고 비용도 훨씬 절감할 수 있다.

2. 평가 결과를 문서화하고 체계적으로 실시하여 경험이 축적되므로 다음에 유사한 설비의 신설이나 증설시에 기본자료로 활용할 수 있다.

3. 위험성 예비분석에 사용되는 작업표 양식은 거의 비슷한 형태를 취하고 있었으므로 분석 대상에 맞추어 선택하고 위험 등급을 자사의 실정에 맞게 정하여 실시하면 된다.

3. 평가의 타당성은 평가에 사용된 자료의 양과 분석팀의 자질에 따라 좌우되므로 자료 확보를 위한 노력과 방법의 개발과 요원의 훈련이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", CCPS of the AIChE, New York(1992).
2. CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", CCPS of the AIChE, New York(1989).
3. CCPS, "Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety", CCPS of the AIChE, New York(1993).
4. Daniel, A. Crowl, Joseph F. Louvar, "Chemical Process Safety", Prentice Hill, New Jersey(1990).
5. Hammer, W., "Handbook of System and Product Safety", Prentice Hall, Inc., New York(1972)
6. Harris R., Greenberg and Cramer, J. J., "Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry", New York(1991).
7. Helmers, E. N. and Schuller, L. C., "Calculated Process Risks and Hazards Management", Plant Operations Progress, 1(3), 190(1982).
8. Leverenz, F. L., Gibson, S. B., Johnson, R. W. and Wagner, D. P., "Use of Hazard & Operability Studies in Process Risk Management", AIChE(1993).
9. Marshall, "Major Chemical Hazards Ellis-Horwood Series in Chemical Engineering", John Wiley and Sons(1987).
10. Primatech, Inc., "Hazard Analysis Techniques and HAZOP for Team Leaders", California(1992).

11. “공정위험평가”, 산국산업안전공단(1993).
12. 한국산업안전학회, “화학설비의 위험성 평가기법 개발”, 노동부(1993)

화학설비에서의 위험성 예비분석 기법에 관한 연구
연구자료(화학연 93-5-28)

발행일 : 1993년 12월 31일

발행인 : 원 장 서 상 학

연구자 : 선임 연구원 조 지 훈

발행처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

화 학 연 구 실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

전 화 : (032) 518-6484 / 6, 502-0031
