

대형산업체의 안전관리 실체

- 미국의 화학공장을 중심으로 -



오 세 중
(기술관리부 부장)

1. 머리말

지난 5년 동안 미국의 화학공업산업에서 긍정적인 면이나 부정적인 면의 모든 면에서 얼마나 심각한 문제점이 있었나를 알아 본 결과 공정안전은 현장 일선에서 업무에 종사하고 있는 화공기술자들의 기술수준에 달려 있음을 알 수 있었다. 그래서 그들은 협조적이며, 유기적인 지시사항을 유도하여 실천행동으로 옮겨야 하는 막중한 임무를 지니고 있다.

그리고 그들은 재원확보, 상근자 배치, 공장 가동 등을 실질적으로 담당하고 처리해야 하는 위치에 있어야 한다. 그렇지 않을 경우에는 그들의 의견이 실제적으로 반영되는 제도적 장치를 마련해 주어야 한다. 또한 그들은 공장안전에 관한 한 적절한 조치를 취할 수 있는 그룹에 속하는 것이다. 왜냐하면 화학공업산업 계열의 종사자가 그래도 안전업무 수행에 최적인 바, 모든 안전사고에 대처할 수 있

는 능력을 보유하도록 지원하고 있다.

가격경쟁과 리엔지니어링의 횡포 속에서 미국의 화학공업산업이 어떻게 업무를 수행하였나를 알아 보아 국내환경의 바람직한 방향을 내다보고자 한다.

2. 공정안전관리에 대한 실체

관리라는 기본개념을 항상 염두에 두고, 미국에서 안전분야에 종사하는 실제 책임자들의 숫자는 과거 5년 동안 증가하였다고 한다. 안전에 대한 이러한 결과는 아주 중요한 안전사고가 감소하고 있다는 것을 의미한다.

이들 업무수행에 가장 효과적이었던 요소로서 손꼽을 수 있는 것을 대별하여 보면 ① 안전성 검토(Safety Review), ② 변경관리(Management of Change), ③ 운전절차(Operating Procedure) 등이 있다. 이들 3가지에 대한 세심한 주의력과 지속적인 보살핌에 뿌리를 두고

안전업무를 수행하고 있었음을 입증하고 있다. 그 결과 부수적으로 전문기술자(Professional Staff)의 직무량이 증가했다고 지적하고 있다. 감소했다는 사례는 없었다.

가장 부정적인 측면을 손꼽는다면 화공 기술자가 다른 분야보다 거의 3배에 가까운 업무량이 증가했다는 사실이다. 안전관련 책무에 관여하는 사람의 수는 증가함에도 불구하고, 안전책임자들의 업무량은 증가했다. 다시 말해서, 주목할 만한 것은 맹종적인 요구사항업무를 처리해야 하는 업무량이 증가했다는 것이다.

그러함에도 불구하고 대부분의 공장 관계자들은 자기 공장 안전에 대하여 수준높게 상당히 만족하고 있다. 이와같이 만족하고 있는 회사에서는 안전위원회를 실제적으로 운영하고 있었다. 결국 그들의 직무량이 증가한다는 새로운 문제점에 봉착하고 있다.

따라서 지속되는 과중한 업무

량은 실수를 야기시킬 수 있으며 이는 곧장 사고를 유발시키는 원인이 되고 있다. 그러므로 마음놓고 안심할 정도로 안전하다고 볼 수 없는 것은 확실한 상황이며, 오퍼레이터의 신체적 정신적 조건과 상황에 따라서 큰 차이를 일으킬 수 있다.

또한, 5년전 보다 사고가 거의 없는 것으로 나타나고 있으나 기간 간부의 직무는 극에 달할 정도로 과중하여 안전과 절충 및 타협하여 안전 자체의 뿌리를 위협에 빠뜨리고 있다.

공장관리의 주요 요점은 “안전이 사업성의 감각을 키운다 (Safety makes good business sense)”라는 개념하에서 업무를 수행하는데 있다. 그래서 안전 사고관리의 기본이 되고 있는 비상시 응급조치사항과 아차사고에 대한 사고 보고와 분석에 역점을 두고 있다. 그러나 일부 회사 경영자는 공장 작업장을 안전하게 유지하고, 일관성 있고 책임성 있게 업무를 수행하기 보다는 돈과 관계되는 데 더 관심을 쏟고 있다는 문제점을 보여주고 있다. 또한, 기업 합병은 분파를 일으키며, 돌발적인 업무 마찰이나 경험자 손실과 같은 예기치 않던 결과나 사례가 발생하면 공장 안전에 이로운 것이 없다는 것이 정평이다.

3. 공장안전에 관한 부정적인 요소

공장 안전에 부정적인 영향을 주는 가장 심각한 관심사는 과중한 업무 부담이다. 회사에서 부여한 직무는 어쩔 수 없이 수행하여야 하며 게을리 할 수 없는 문제이다. 이렇게 과중되는 업무 상황속에서 전문기술요원과 안전요원의 업무수행에 어떻게 영향을 미치게 될 것인가를 검토하지 않으면 안된다. 그 첫째가 공장을 안전하게 유지하는데 영향을 주게 된다는 것이 오퍼레이터와 법규 기준을 적용하여 점검업무를 수행하는 안전관리 담당자들의 일치된 의견이다. 사고발생의 가장 큰 원인은 추가된 직무량으로 인하여 사고 발생시 적절한 조치를 적시에 취하지 못하기 때문에 발생하는 것으로 나타나 있다.

평상적인 안전업무는 5년전 보다 잘 이루어지고 있으나, 위기를 맞이 하기 전에 문제점이 야기될 수 있는 징후를 찾아내려는 데는 아무도 시간을 할애할 여유가 없으며, 더욱이 중대한 비상사고에 대처하는 능력은 고도의 기술적 지식과 경험적으로 숙달된 직원에 대한 부실한 관리로 인하여 심각할 정도로 침식 당하고 있다.

두번째로 가장 큰 문제점은 사고 발생에 대한 정기 간행물 보고가 없어서 공장 근무자가 관련 사고에 대한 지식을 전혀 습득하지 못하고 있다는 사실이다. 재정확보가 우선되어야 안

전에 대한 조치를 취할 수 있으나 보다 더 중요한 것은 진정으로 안전에 관심을 갖고 공장관리업무에 임하는 자세에 있는 것이다. 변경관리하는 데 요구되는 문서화 작업이 형식적으로 이루어지는 횡포가 자행될 경우, 공정안전개선에 어려움을 주거나, 이전 보다 보완된 사항이 없이 복잡하게 하는 사례가 있다는 것을 잊어서는 안된다. 단기 차익을 취득하기 위하여 장기 안전계획이나 품질개선에 소극적인 투자 내지 손상을 주면서까지 공장을 관리하고 있다는 사실에는 심각한 우려를 표명하지 않을 수 없다. 왜냐하면 일관성 있는 경영철학적 관리투자에 대한 효과는 단기 이익으로 수치 표현이 곤란하기 때문이다. 그런데 이러한 점을 알면서도 극소수의 경영 책임자는 안전과 관련된 업무를 도외시키고 있다고 공정안전 실무관계자는 토로하고 있다. 그러므로 이에 그치지 않고 안전을 지원하는 실질적 기술상 경험 축적능력이 급격히 상실되고, 경직된 오퍼레이팅 행정이 그 자리를 대체 잠식하고 있다는 사실이 다. 설상가상으로 대책없는 경비 삭감과 인원 감축에 의한 자원 고갈이 안전에 아주 큰 타격을 안겨준다.

4. 위험성 검토

안전업무 수행에 가장 효과가

있었다고 보고 있는 안전성 검토는 위험관리 프로세스에서 최초의 단계인 동시에 정밀하고 세밀한 작업을 요구하는 단계이다. 그리고 가장 시간이 많이 걸리며 잠재적 손해의 위험원인을 검출하는데 소홀하면 기업의 위험을 처리하는 필요한 조치(수단)를 취하지 못하게 된다. 각종 손해의 원인을 발견하기 위하여 여러 가지 조직적 접근 방법이 개발되었다.

공장이 가동되고 있는 동안에도 안전성 검사를 하는 것은, 공장이 적당한 조업을 통해서 설계되고 건설된 대로 유지되고 있는지를 확인하는데 도움을 준다. 만약에 변경이나 수정이 계획된다면, 그 전에 변경에 대한 위험성 평가를 하는 것은 물론이고, 그 변경에 의해서 영향을 받을 가능성이 있는 다른 시스템 또는 절차들에 대해서도 위험성 평가가 선행되어야만 한다. 이러한 위험요소 평가 및 제어에 대한 두 가지 기본적인 접근방법은

① 기준(Standard)은 물론 축적된 경험 및 지식의 기준적 관례를 준수하는 것(Adherence to Good practice).

② 예측 가능한 위험요소에 대한 평가(Predictive Hazard Evaluation)방법이 있다.

위험평가 절차들은 이 두 가지 접근법들 중 하나 또는 둘 모두에 관련될 수 있기 때문에 이

두 가지 접근방법을 이해하는 것이 중요하다.

물론 이러한 모든 절차들은 최소한으로 요구되는 사항이다. Rule과 Regulation들을 준수하고, 선정된 기준들에 필요한 사항을 만족시키도록 하며, 동일한 공정, 동일한 공장 설계와 필요사항, 그리고 동일한 조업 및 유지절차에 대해 수년간의 경험으로부터 최적이라고 증명된 기준적 관례를 적용하고 있다.

결과분석은 예상되는 손실을 기술하는 것으로 인명손실, 환경 또는 설비의 손상 및 조업중단일수 등이 포함된다. 위험성 확인절차는 위험성 평가방법의 몇 가지 관점에서 설명할 수 있는데 다우지수는 가능한 최대 자산손실(Maximum Probable Property Damage:MPPD)과 가능한 최대 조업중단일수(Maximum Probable Days Outage:MPDO) 계산방법을 언급하고 있는 결과분석의 한 형태이다. HAZOP는 어느 한 특정 사고가 어떻게 발생하는가 하는 정보를 제공해 주는 것으로 이는 결과 분석의 한 형태이다. 이들과 관련하여 안전성 평가 방법론(Hazard Evaluation Procedures:HEP)을 열거하면 다음과 같은 것이 있다.

- ① Engineering/Process/System Checklists
- ② Harzard Indices
- ③ Safety Index Review

④ Harzard and Operability Study

⑤ Preliminary Harzard Analysis

⑥ What if Analysis

⑦ Failure Mode and Effect Analysis

⑧ Failure Mode Effect and Criticality Analysis

⑨ Gross Hazard Analysis

⑩ Hazard Logic Tree

⑪ Fault Tree Analysis

⑫ Event Tree Analysis

⑬ Cause-Consequence Analysis(or Diagrams)

⑭ Human Reliability Analysis

⑮ Chemical Process Quantity Risk Tree

⑯ Management Oversight and Risk Tree

⑰ Technique for Human Error Rate Prediction

⑱ Cost Effectiveness Analysis

⑲ Parts Count Method

⑳ Epidemiological Approach

㉑ Rapid Ranking

㉒ Safety Audits

㉓ Simulation

㉔ Double Failure Matrix

㉕ Firesafety Concept Tree

상기 사항 중에서 대표적인 항목만 개략하면 다음과 같다.

- (1) 공정/시스템 위험점검표

(Process/System Check Lists)

점검표는 기준절차에 따라 일이 진행되고 있는가를 확인하기 위해서 자주 사용되며 최소한의 위험도를 인지시키는데 유용하고 일반적인 위험요소들을 확인하거나 기준절차에 따라 일이 진행되는가를 확인한다. 또한 개개인의 기술자가 수행한 작업에 대해서 경영층에 검토할 수 있는 기본자료를 제공해 준다.

컴퓨터 소프트웨어로는 특별한 것이 없으며 분석용으로 필요한 경우 개발하여 사용하고 있다.

(2) 안전성 검토(Safety Review)

공정을 직접 보면서 사고나 심각한 재해를 일으킬 수 있는 공장의 조업조건, 절차, 설계목적과 기준에 부합되는지를 확인하는데 유용하며 공장의 안전과 성능을 향상시키고 중요위험요소를 탐색하는데 도움이 된다. "What-If"기술 등 다양한 위험평가기술이 이 검토기간 중에 이용될 수 있다.

컴퓨터 소프트웨어로는 AUDIT-PC(Primatech, Inc., Columbus, OH)가 있다.

(3) 상대적 위험도 지수(Relative Ranking-Dow and Mond Hazard Indices)

Dow and Mond Indices는 화학공장에 존재하는 위험에 대하여 직접적으로 단순하게 상대

적 위험도에 대하여 공장의 상황에 따라서 페널티와 크레딧을 부여하여 순위를 제공한다.

컴퓨터 소프트웨어로는 ① SPECTRUM/PC-F & E(Battelle Columbus Division, Columbus, Ohio)은 Dow의 F & EI Version이고, ② RISK* RANK(BATTELLE)은 화학물질 위험등급에 관한 일반적인 프로그램이고, ③ MOND INDEX는 ICI PLC, Ltd.,(UNITED KINGDOM)에서 MOND INDEX를 보완한 것이 있다.

(4) 사전 위험 분석(Preliminary Hazard Analysis)

이 분석의 주 목적은 위험을 초기에 발견하여 위험이 발생하였을 때에 드는 비용을 절약하고 예기치 않던 에너지의 방출이 돌발할 수 있는 요소를 조사하는 데에 유용하며 설계자가 위험요소들을 조기 발견하는데 도움이 된다.

컴퓨터 소프트웨어로는

① PHA-PC(Primatech, Inc., Ohio)와

② HAZOPTimizer(A.D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts) 2가지가 있는데 PHA Study에서 결과분석에 아주 유용하다.

(5) "What-If" 분석("What-If" Analysis)

"What-If" 분석은 HAZOP이나 FMECA처럼 정확하게 구

조화되어 있지 않지만 사용자가 특별한 상황에 맞추어 기본개념을 수정해 가며 사고를 초래할 수 있는 사건을 세심하게 검토하고 공정에 잠재하는 사고를 확인하여 그 위험과 결과, 또 위험을 경감시키는 방법 등을 제시한다.

컴퓨터 소프트웨어로는 WHAT IF-PC(Primatech, Inc., Columbus, Ohio)와 SAFEPLAN(Du Pont, Westlake Village, California)이 있는데 스프레드 시트를 사용하여 결과분석에 유용하게 활용되는 상업용 프로그램이다.

(6) Hazard and Operability(HAZOP) Studies

HAZOP은 설계 의도에서 벗어나 일탈하는 현상을 찾아 내어 공정에 존재하는 위험요소들과 비록 위험하지는 않아도 공정의 효율을 떨어뜨릴 수 있는 조업상의 문제점을 초기 설계단계에서 특별히 알아내고자 개발되었다.

컴퓨터 소프트웨어로는 브리핑, 계통도 작성, 팀 멤버 구성, HAZOP기법 도시, 회의결과 작성, ACTION ITEM들을 다양하게 취급한 프로그램들이 많이 있다.

① CAHAZOP(NUS Corporation, San Diego, California)

② HAZOP-PC(Primatech, Inc., Columbus, Ohio)

③ HAZOPTimizer(A.D.

Little, Cambridge, Massachusetts)

④ HAZSEC(Technica, Inc., Columbia, Ohio)

⑤ HAZTEK(Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, Pennsylvania)

⑥ LEADER(JBF Association, Inc., Knoxville, Tennessee)

⑦ SAFEPLAN(Du Pont, Westlake Village, California)

(7) 공정이상현상·결과·위협도 분석(Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis)

FMECA는 시스템/공정 장치가 어떻게 고장났는가(Open, Close, On, Off, 누출 등)에 대한 기술적 사항에 중점을 두고 설계에 쉽게 구현될 수 있는 부가적인 보호 장치를 확인하는데 사용되고 있다.

컴퓨터 소프트웨어로는 FMEA-PC(Primatech, Inc., Columbia, Ohio)가 있으며 용도에 따라서는 HAZOP 프로그램을 사용하기도 한다.

(8) 이상 트리 분석(Fault Tree Analysis)

이상 트리 분석(FTA)은 하나의 특정한 사고에 집중한 연역적 기법으로 사고를 일으키는 장치 이상이나 조업자 실수를 조합적으로 분석하는데 사용되는 정상적 도구로서 예방적 조

치에 중점을 두고 있다.

컴퓨터 소프트웨어로는 다음과 같은 여러 가지가 있다.

① BRAVO(JBF Association, Inc., Knoxville, Tennessee)

② CAFTA + PC(SAIC, Los Altos, California)

③ CARA(Technica, Inc., Columbus, Ohio)

④ FaultEASE(A.D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts)

⑤ IRRAS-PC(Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, Idaho)

⑥ NUSSAR-PC(NUS Corporation, San Diego, California)

⑦ RISKMAN(PLG, Inc., Newport Beach, California)

(9) 사건 트리 분석(Event Tree Analysis)

사건 트리 분석은 사고를 유발하는 초기화 사건과 관련된 특정한 장치의 이상이나 조업자의 실수로부터 발생하는 잠재적인 사고결과를 후속적으로 발생하는 사건의 순서를 평가하는 기법이다.

컴퓨터 소프트웨어로는 다음과 같은 것이 있다.

① ETA-II(SAIC, Los Altos, California)

② CHEM-RISK(NUS Corporation, San Diego, California)

nia)

③ IRRAS-PC 2.5 (Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, Idaho)

④ RISKMAN(PLG, Inc., Newport Beach, California)

(10) 원인-결과 분석(Cause-Consequence Analysis)

원인-결과 분석은 가능한 사고를 평가하기 위해 이상 트리와 사건 트리 분석을 혼합한 것으로 사고결과가 예측되는 발생빈도를 정량화 하는데 사용될 수 있다.

컴퓨터 소프트웨어로는 CARA(Technica, Inc., Fullerton, California)가 있다.

(11) 인간 신뢰도 분석(Human Reliability Analysis)

조업자 에러분석은 공장의 조업자, 보수반원, 기술자 그리고 그외의 다른 사람들의 작업에 영향을 미칠 수 있는 위험요소와 원인을 여러 형태(작업자에게 요구되는 기술, 지식, 능력 등과 그 작업의 물리적, 환경적 특징 등)의 작업 상태에서 조업자 에러 중심으로 평가하고 원인을 추적하는데 사용한다.

컴퓨터 소프트웨어로는 HRA-PC(Primatech, Inc., Columbus, Ohio)와 SHERI(Battelle, Columbus Laboratory, Columbus, Ohio)가 있다.

5. 맺는 말

화학공정위험은 위험관리 대상의 일부이지만 순수위험으로 통제가 가능한 관리대상이다. 위험관리는 모든 리스크를 대상으로 최소의 비용을 가지고 리스크의 결과로 발생한 불이익에 의한 결과 즉, 손해를 최소화하는 것을 목적으로 하는 관리를 말한다. 이 경우 리스크가 처해 있는 개별 경제 주체에 따라 그 리스크의 내용과 관리의 방법도 다르게 된다. 리스크 매니저의 주요 책임은 장기간에 걸쳐 순수위험의 비용을 경감하고 허용되는 최고한도액 이하로 위험비용의 연간 변동폭이 머물도록 억제하는 것이다. 이와 같은 기본 목적의 범위내에서

- ① 인명 및 인적자본가치의 보호
- ② 물적 및 재무자산의 보전
- ③ 수익 상실의 방지
- ④ 손실발생의 환경과 조건 배제
- ⑤ 특정 예산범위내에서 손실 보유
- ⑥ 기업의 필요성에 따라 보험사업 조성 등과 같은 몇 가지의 특별 목적이 있다.

그러나 가격과파괴에 따른 무한 가격경쟁시대에서 생산 기술력을 강화시키지 않고, 더구나 경영층에서 내세운 경비절감정책과 이러한 무언의 압력 속에 COST DOWN을 위한 맹종적인 설비 보전비 삭감은 사고를 용인하는 풍토를 만연시킨다.

제품을 생산하는 것은 설비이므로 설비 보전에 합리적이여야 한다. 효율적인 장비운영에 못지 않게 기술력에도 BACK-UP 개념을 도입하지 않으면 안된다. 이를 위해서는 보전 업무를 수행하는 기술력을 확보하지 않으면 안된다. 이러한 기술력 으로서는 ① 소프트 웨어적인 온라인 보전 시스템이 개발 확보되어야 하겠고, ② 설비진단 및 정비에 대한 전문기술력이 수준급으로 유지되어 장치고장 수리보전에 계획적으로 예지·예방하는 보전으로 전환되어야 하고, 보전 활동이 눈에 보일 정도로 성과를 거두어야 보전품질을 신뢰하게 된다. 예산이 뒷받침되지 않은 계획 보전은 무의미하며, 돌발적으로 발생하는 고장이 있어서는 곤란하다.

대부분 회사의 시설이 창업 당시의 공장 시설로서 지금은 상당히 노후화 되었고, 성장기에 건설한 공장들도 노후 단계에 들어서고 있다. 이러한 점에서 설비관리에 역점을 두어야 할 시기가 된 것 같다. 즉, 각 분야의 공정(Process) 전 수명을 통한 위험요소 평가를 장치에만 국한시키지 말고 공정물질, 공정조건, 공장의 설계 및 설비, 조업순서와 조업자의 교육, 위기상황에 대한 대처방안, 경영층의 관심 등 영향을 줄 수 있는 모든 사항에 대하여 시행하여야 한다.

대재해는 물론 공장 근로자와 이웃 주민들의 건강과 안전에 심각하게 위협을 주는 특정한 시스템 및 공장의 위험요소를 규명하고 평가하는 절차상 주요한 관리요소로서

- ① 지속적이고 일관성 있는 목표관리(Accountability)
- ② 공정에 관한 완벽한 지식 습득과 자료관리(Process Knowledge and Documentation)
- ③ 특별지출금을 포함한 예산 총당절차(Capital Project Review and Design Procedures)
- ④ 공정위험관리(Process Risk Management)
- ⑤ 기술, 설비, 조직 등에 대한 변경관리(Management of Change)
- ⑥ 공정 및 장치관리(Process and Equipment Integrity)
- ⑦ 조업자 관리(Human Factors)
- ⑧ 교육 훈련(Training and Performance)
- ⑨ 사고조사(Incident Investigation)
- ⑩ 법규 적용(Standards, Codes, Laws)
- ⑪ 업무확인 및 대책수립(Audits and corrective Actions)
- ⑫ 공정안전에 관한 지식습득 체제확립(Enhancement of Process Safety Knowledge) 등과 같이 12가지에 중점을 두어 공장안전관리(Plant Safety)를 수행할 필요가 있다. ☉