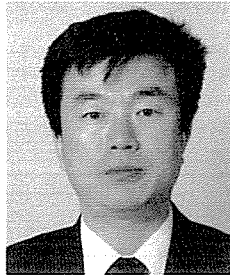


I 안전문화, 무엇이 문제인가?

안전의식 높이는 것이 가장 중요 정부·언론 체계적 캠페인 벌여야



諸 武 成

〈한성대 산업안전공학과 교수〉

책임자 처벌, 문제해결책 못 돼

최근 대구에서 영남중학교 학생들이 포함하여 1백명 이상의 많은 시민들이 목숨을 잃은 대형 가스폭발사고가 발생하였다. 우리는 이 사고 이전에도 성수대교 붕괴사고, 서울 이현동 가스폭발사고, 충주호 선박화재사고 등 수백명의 목숨을 앗아간 대형 사고를 보았다. 우리의 주위에서 오늘이나 내일 무슨 대형사고가 터질지 모르는 상황 속에 살면서도 우리는 벌써 어제의 대구 폭발사고를 잊어가고 있다.

사고가 터지고 나면 어느 사고에서나 마찬가지로 검찰이 발표하는 수사 결과에만 관심이 있을 뿐 근본 사고원인의 과학적인 분석방법을 통한 문

제해결의 제시가 이루어지지 못하고 있다. 정부 당국도 그렇고 검찰도 편일률적으로 사고를 발생시킨 용의자를 찾아내고 관련된 사람들을 불러서 예전에 해왔던 방식대로 수사를 진행시킨다. 이 시점에서 지혜로운 우리의 자세는 안전문화의 현 주소를 파악하고, 근본적이고 과학적인 사고의 원인분석을 통하여 또 닥칠 대형 사고의 발생 빈도를 최소화시키기 위해서는 정부, 언론, 기업, 정부투자기관, 학교, 연구소, 각종 단체에 이르기까지 각계에서 노력을 기울여야 할 것이다.

안전문화(Safety Culture)의 용어는 1986년 구 소련의 체르노빌 원자력발전소사고 이후에 사고원인의 분석과 사고예방 전략을 세우기 위해

국제적인 전문가들로 구성된 국제 원자력 안전자문단(INSAG : International Nuclear Safety Advisory Group)에서 처음으로 사용되었다. 이 회의에서 1994년 안전문화 평가 지침서(ASCOT Guideline)를 발간하고 안전문화를 다음과 같이 정의하였다.

안전문화란 안전에의 주의를 항상 견지하고자 하는 조직과 개인의 총체적인 특징(Characteristics)과 마음 자세(Attitudes)이다. 즉, 안전문화란 개인이나 조직 모두가 안전을 항상 중요하게 생각하고, 어떤 일을 하든지 그 속에 내재해 있는 위험을 평가하고, 관리하려는 정신적 풍토이다. 한편 최근에는 미국의 화학공업계에서도 폭발, 연소, 위해물질의 방출시에 예상되는 사고에 대하여 화학공업시설의 안전성 평가 및 안전관리를 위한 공정안전관리(Process Safety Management)의 이행을 촉구하고 있는 실정이며, 공정안전관리의 안전감사(Audit) 실시계획서에도 비슷한 의미의 안전문화의 개념을 사용하고 있다. 그러나 그외 타 분야에서는 아직 안전문화에 대한 정확한 개념이 정립되지 않은 상태에 있다.

본 기고는 이러한 안전문화의 일반적 개념을 소개하고 조직차원에서 안전문화의 구성요소와 그 특징을 정리하고, 현재 우리사회에서 안전문화의 부재에서 야기되는 크고 작은 사고에 대하여 정부, 토목, 건축, 소방, 교통관련 산업시설의 사업자, 연구소 및 학계가 추구하여야 할 사고원인 분석과 대비와 관련한 각계의 역할에 대한 총론의 형태로 기술하고자 한다. 먼저 국제원자력기구(IAEA) 자문단(INSAG) 회의

에서 제시한 조직차원에서의 안전문화의 개념은 다음과 같다.

原電사고서 안전문화개념 정립

1979년 미국의 TMI(Three Mile Island) 원자력 발전소에서 발생하였던 대형사고도 그러했고, 그로부터 9년 후에 발생한 1986년 구 소련의 체르노빌(Chernobyl) 원자력 발전소 사고도 결국은 안전문화의 질(Quality)이 낮은데서 비롯된 인적오류가 사고발생의 근본 원인이었다.

원자력 발전소 사고에서 제기되기 시작한 안전문화의 개념을 정부정책이나, 교육, 대국민 홍보관련 안전문화 등 포괄적이고 추상적인 개념의 정립은 뒤로 미루고 먼저 조직차원에서 안전문화는 크게 4가지 요소로 나누어지며, 이 요소들에 따라서 그 조직의 안전문화 질(Quality)이 결정된다. 그 요소는 조직의 구성원이 교육, 훈련을 통해서 획득한 안전 지식(Safety Knowledge), 운전에 대한 작업자의 자세(Attitude), 조직의 경영자가 추구하는 운영기초(Choice of Plant Performance Goals), 책임라인과 의사소통의 원활성(Establishment of Lines of Responsibility and Communication)이다.

〈안전지식 : Safety Knowledge〉 운전원은 시스템의 계통, 설비의 기능, 안전기준(Safety Limit)이 초과될 때 예상되는 결과, 중대사고 발생시 예상되는 결과 등에 대하여 이해하고 있어야 한다. 구 소련의 체르노빌(Chernobyl)사고는 정기적으로 행해지던 소규모의 시험(Test) 수행중에 운전원의 무지로 인한 수행절차과정의 연속적인 위반으로 인하여 발생한 사

고였으며 운전원의 안전인식의 결여가 얼마나 중요한가를 일깨워 준 사고로서 그 발전소의 안전문화의 질(Quality)이 낮음을 보여준 일례였다.

〈작업자세 : Attitude Toward Facility Operation〉 1987년 미국의 피치버텀 발전소(Peach Bottom Plant)는 미국 원자력 규제기관인 NRC로부터 발전중지(Cold Shutdown) 명령을 받았다. 몇번에 걸쳐 운전원이 운전중에 수면을 취하는 것이 검열중 적발되었고, 감독자(Supervisor)의 묵인하에 자리를 비운적이 있었기 때문이었다. 이처럼 원전 운전시 습관적인 작업(Routine Task)은 지루한 환경이 조성됨으로써 느슨해지는 작업 자세(Working Attitude)를 가질 수 있다. 이러한 태만하고, 부주의한 자세를 가지는 운전조직의 팀(Team)은 사고시 운전설비를 정상 상태로 환원하기가 매우 어려우므로 안전문화의 작업자세 요소가 부족한 조직으로 평가받을 수밖에 없다.

〈경영자의 운영기초 : Choice of Plant Performance Goals〉 1985년 역시 미국의 데이비스 베시 발전소(Davis Besse Plant)는 증기발생기로 주입되는 모든 보충수가 공급중단되어서 증기발생기가 수위노출(Dryout)되는 사고가 있었다. 비상운전 절차서상으로 이 상태에서는 원전원이 물누출/공급(Feed-and-Bleed)을 수행하여 잠열을 제거시켜야 하는데 감독자(Supervisor)는 누출 후 장기적으로 요구되는 방사능 물질의 제거(Clean-up)와 이에 따르는 큰 경제적 손실을 고려하여 운전원이 아무런 조치없이 안전계통인 보조급수 계

통이 자동으로 회복하기만을 기다렸고, 급기야 적시에 회복이 되지 않아서 핵연료가 녹는 사고가 발생하였다. 감독자(Supervisor)는 언제라도 물누출/공급(Feed-and-Bleed)이 성공적으로 수행가능하다고 생각하여 조치를 취할 수 있음에도 경제적인 이유로 마냥 다른 시스템의 회복을 기다리다가 적기(Timing)를 놓쳐버린 것이었다.

이처럼 상위의 조직(Higher Organizational Level)이 시설의 운용기초(Plant Performance Goals)를 경제성에 두고 운영을 하느냐, 아니면 안전성에 두느냐에 따라 운전원의 의사결정에 직접적인 영향을 준다. 따라서 안전문화는 최고 경영자의 운영기초에 크게 영향을 받는 것이다.

〈책임과 의사소통 라인 : Lines of Responsibility and Communication〉 명확한 책임 및 의사소통 라인의 조직화는 산업시설의 안전 운전매우 중요하다. 피치버텀 발전소(Peach Bottom Plant)에서와 같이 운전원이 운전중에 수면을 취할 때 안전 감독자는 습관적인 부작위 행위를 파악하지 못했거나, 파악했어도 어떤 조치도 취하지 않음으로써 반복하여 작업자가 수면을 취하는 경우가 불시의 검사를 통해서 적발되었다. 이 조직의 책임회피와 관련한 안전문화 수준의 단면을 보여 준 것이었다. 또한 의사소통은 직접 대면(Face-to-face)으로 하는 것이 가장 효과적이지만 때로는 문서로 작업지시를 받는 경우도 있다.

어떤 기술자(Engineer)는 구두지시에 언짢아하는 경향을 보인다는 보고

도 있다. 아무튼 NRC보고에 의하면 미국의 터키포인트 발전소(Turkey Point Plant)는 구두보다 문서로써 주로 의사소통을 함으로서 감독자(Supervisor)가 직접 확인하고 감독할 충분한 기회와 시간을 갖지 못함으로써 터키포인트 발전소의 경우 그 안전문화가 의사소통에서 취약한 평가를 받게 되었다.

사고분석, 위험요인분석 통례

일반적으로 안전문화와 밀접한 관계를 가지고 있는 재해 또는 사고는 리스크(Risk)라는 개념으로 설명된다. 리스크(Risk)는 안전(Safety)과 대비되는 개념이다. 안전보다 리스크의 개념으로 사고를 분석하는 것이 일반적인 통례이다. 리스크의 개념은 거시적으로 정량적인 것과 정성적인 것으로 나누어지며 다음과 같이 정의된다.

■ 정량적인 리스크 = 사고빈도(Frequency) × 사고결과(Damage).

■ 정성적인 리스크 = 위험요소(Hazards)/ 안전장치(Safeguards).

여기서 사고빈도란 사고가 얼마나 자주 일어나느냐의 확률값이고 사고 결과는 만일 그러한 사고가 발생하였을 때 주변에 주는 피해, 즉 사망자 수나 금전적 손실비용을 말한다. 예를 들면, 가스폭발사고로 1백명이 사망할 확률이 백만분의 일이면 리스크는 $10^{-6} \times 100$, 즉, 10^{-4} 이다.

위험요소(Hazards)는 사고발생의 잠재적인 요인이고, 안전장치(Safeguards)는 사고의 방어수단을 의미하며 엔지니어링을 통하여 확보되는 각종 안전시설, 장치 등이 여기에 포함된다. 예를 들면 태평양을 보트로 건너는 것보다 스웨덴의 실리자

(Silija)호와 같은 호화유람선으로 바다를 건너는 것이 훨씬 더 안전하다. 이것은 바다라는 위험요소는 두 배에 동일하게 적용되지만 안전장치의 확보 정도는 호화유람선이 크므로 호화유람선의 상대적인 리스크 값이 훨씬 적어진다. 리스크는 안전장치, 즉 사고예방수단의 증강으로 감소시킬 수 있다는 것이다.

북한에 공급될 한국형 원자력 발전소를 포함한 일반적인 원자력 발전소의 시설은 두가지, 즉 전기를 생산하는 생산설비와 사고시 안전한 조치를 위한 안전시설로 나누어진다. 건설비용으로 약 총 3조원이 소요되는 원자력 발전소 건설비 중에서 단지 사고발생 시에만 사용되는 안전장치와 관련한 안전설비건설비용이 약 반(1.5 조원)에 해당하고 있다. 이것은 방사능이라는 위험요소는 매우 크지만 그만큼 안전시설의 보강으로 리스크가 적도록 설계되어 있다는 것을 의미한다.

따라서 거시적으로 볼때 리스크를 줄이는 방법은 사고빈도를 줄이거나 사고방어수단을 증대시킴으로서 가능하다. 또한 가스폭발, 그외 뜨거운 용융물이 물과 결합될 때 발생할 수 있는 증기폭발(Steam Explosion), 분진폭발 등 사고현상(Damage)의 정확한 물리적 현상의 평가를 통하여 그 현상의 발생을 억제시키는 조치를 취함으로써 그 시설에 대한 리스크를 줄여 나갈 수 있다.

미시적인 측면에서 리스크와 관련된 사고빈도를 계산하기 위한 과학적인 기법들이 있다. 이 기법들은 사고빈도를 계산하는 기법인 동시에 사고원인을 분석하는 데에도 사용될 수 있다. 본 기고에서는 체계적이고 과학적인

사고원인 분석기법을 이용, 근본적인 사고발생의 원인을 파악하고 대처하는 하나의 접근방법을 제시하고자 한다. 안전문화의 결여로 유발되는 대형 사고에 대하여 여러 부문에서 체계적인 사고원인의 분석이 필요하다. 이 분석은 대형 사고후 틀에 박힌 검·경찰의 대처방법에 개선의 대안이 될 수 있을 뿐만아니라 우리사회의 안전문화의 질을 한차원 높이는데 활용될 수 있을 것이다.

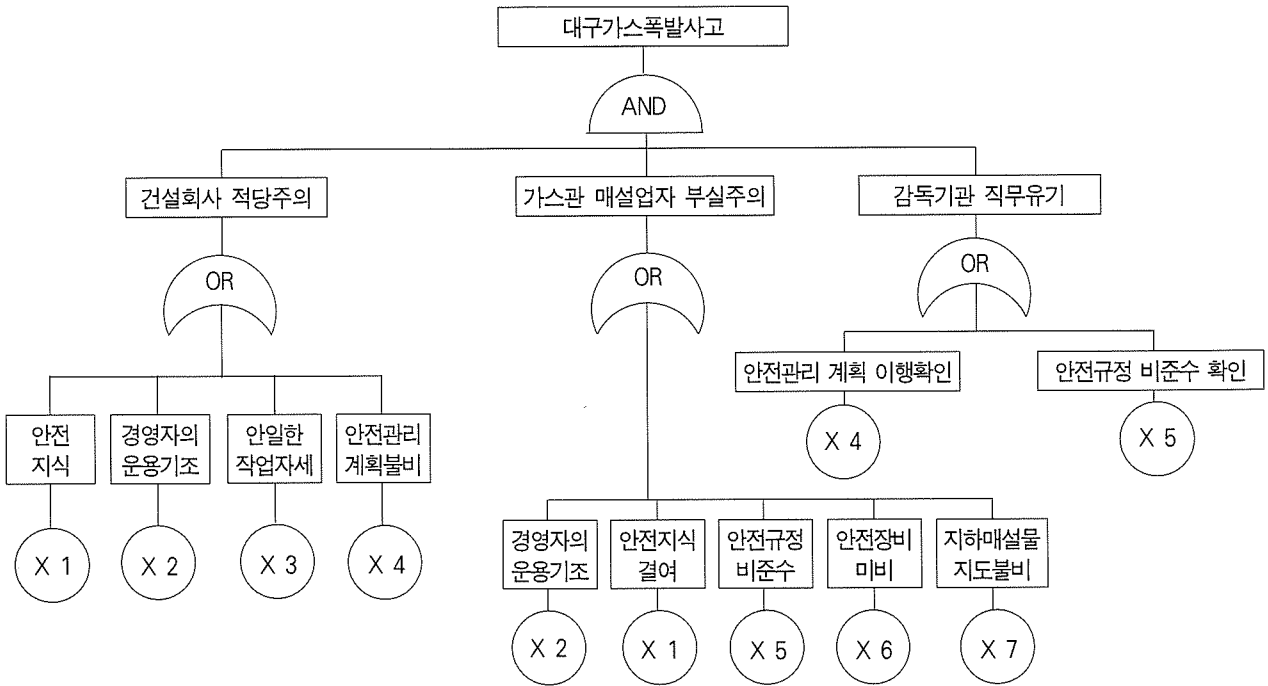
최소한 재해발생빈도 줄여야

안전문화 고급화는 우리사회의 재해 발생빈도가 줄어드는 것과 상관관계가 있다. 정부 안전관련 부처, 건설, 토목, 교통, 소방분야에서 나름대로 체계적인 원인분석을 통하여 재해를 예방하거나, 예방이 완전히는 불가능하더라도 그 재해의 발생 빈도는 줄여야 한다.

사고원인 분석방법으로서는 고장 및 효과분석기법(FMEA), 귀납적 논리로 구성되는 사건수목기법(ETA)과 이 방법을 확장시킨 특성요인도 분석기법, 연역적 논리를 이용하는 고장수목기법(Fault Tree Analysis) 등이 있다.

본 기고에서는 이중 대표적인 사고원인 분석기법인 고장수목 분석기법(FTA)을 이용하여 대구가스 폭발사고에 대한 사고원인 분석의 일례를 제시하고자 한다. FTA는 1960년대 미국 군수시설에서 무기시스템의 안전분석에 도입된 이래로 원자력 발전소를 포함한 복잡한 시스템에 사용되어 오고 있는 해석적인 기법이다. 이 기법은 기계부품의 고장이나 인간의 작업수행 오류 등의 사건에 대한 발생확률을 사

(그림 1) 대구가스폭발사고의 고장수목도(Fault Tree)



용하여 정량적인 결과를 보여줄 수 있을 뿐만 아니라, 정성적으로도 미리 설정된 사고사건(Top Event), 즉 대구가스폭발사고를 야기시키는 사고원인의 조합을 도출한다. 사고원인분석 과정은 다음과 같다.

먼저 사고원인의 요소를 나열한 후 상호관계를 도식한다. 안전문화의 구성요소를 중심으로 이번 대구 가스폭발사고의 고장수목도(FTA)를 (그림 1)과 같이 도시하였다. 그 다음에 사고사건, 즉 사고로 귀결시킨 각각의 사고요인들을 불리안 대수(Boolean Algebra)를 이용하여 최소단절군(Minimal Cut Sets)을 도출하며, 이 도출된 조합사고원인들에 대한 사고원인과 안전대책을 체계적으로 검토한다.

(그림1)에서 제시된 변수(Xi)들에 대하여 불리안 대수를 적용시키면 최소 단절군이 8개 (X1X4, X1X5, X2X4, X2X5, X3X5, X4X5,

X4X6, X4X7)가 얻어진다. 즉 8종류의 조합된 사고원인이 도출된다. 하나의 예로서 최소 단절군 X1X4는 가스 폭발의 위험성에 대한 건설회사 근로자의 안전지식 결여와 안전관리 조직의 불비(또는 불이행)가 사고사건, 즉 대구 가스폭발사고를 일으켰다는 것이다. 각각의 최소단절군을 검토하면 안전관리 계획의 이행확인(X4)의 요인이 대부분 연루되어 있고, 그 다음으로는 안전규정비준수(X5)의 확인이 취약하였음을 나타내고 있다. 전반적인 분석결과는 규제기관의 적절한 규제가 사고방지에 매우 중요한 것으로 나타나고 있다. 이 결과는 고장수목을 이용한 사고원인 분석의 한 예로서 규칙을 제정하는 규제기관이나 안전관련 담당자들이 활용할 수 있는 사고원인 분석법이다.

우리 속담에 '소 잃고 외양간 고친다'는 말이 있다. 사고가 터진 후에 사고원인을 체계적으로 분석하여 또

다른 비슷한 사고를 막는 것도 중요하지만, 근본 사고의 간접적인 원인은 우리사회의 안전문화의 부재에 있으므로 안전문화의식의 결여부분을 파악하는 것이 총체적인 의미에서 더욱 중요하다. 정부의 안전관련 관리의 실태, 기업의 안전운영 실태, 가정이나 학교 현장에서의 안전교육의 실태 등 우리사회의 안전문화에 대한 현상파악이 앞으로 우리사회의 선결과제이다. 총체적인 안전문화의 현상파악을 통하여 다음 단계로 안전문화의 정착을 위해서 다각적인 채널을 통하여 국민홍보나 국민운동으로 꾸준히 추진해 나갈때 우리사회의 안전문화 질(Quality)이 발전될 것이다. 이를 위해서는 언론, 정부, 기업, 정부투자기관, 학교, 연구소, 각종 단체에 이르기까지 각계에서 체계적인 안전활동이 유기적인 관계를 가지면서 전개되어 가야할 것이다. ㉞