

미국의 전기사고 분석에서 배워야 할 사항

미국전기전자학회(IEEE)의 "Industry Applications" 지 최근호에서는 '전기안전과 환경'(Electrical Safety and the Environment)이라는 제목의 특집을 실었는데, 그 중에서 전기사고에 관한 글을 일부 발췌하여 여기에 소개한다.

1. 개요

전기손상(Electrical Injury) 방지는 작업현장에서의 전기사고(사건, Incident) 횟수·손상정도 및 원인을 평가하는 노력에 따라서 분야별로 달라진다. 이는 고용주가 사고를 얼마나 상세히 기술하느냐에 영향을 받는데, 작업현장의 정서는 전기사고를 기록하지 않는 쪽으로 압력을 행사하는 경향이 있어 전기사고의 원인을 정확하게 찾아나가는 것은 지금까지도 아주 어려운 문제로 인식되어 오고 있다.

경영진은 보고에 대해 격려나 보상을 하기는커녕, 관리자의 시간에 대한 불평 등을 기록하여 승진 및 급여 인상 기회를 제한하기도 한다. 불안정한 시설에 주의를 환기시켜 종업원의 최대 관심사가 되도록 하겠다는 인식이 없는

것은 물론 손상의 위험을 충분히 인식하도록 미리 조치하지 못하고 종업원이 스스로 안전하게 행동하기를 기대하면서 개인의 표준 또는 그들의 경험을 충분히 반영하여 작업에 임할 것을 요구하고 있다.

일반적으로 전기 위해(Hazard)나 손상에 관한 부정확하고 불완전한 데이터에 기초한 믿음과 자세가 오히려 전기사고 및 손상을 유발하는 원인이 될 수도 있다. 그리고 각 개개인의 경우, 유효한 정보를 갖고 있지 못하는데서 오는 인식 부족이 안전 또는 불안전하게 행동하는데 영향을 미칠 수도 있는 것이다.

최근 미국의 한 조사기관이 미국내 어떤 회사의 전기원 1,200명에 대한 현장실사(Survey) 결과를 보고한 것을 보면,

- 응답자 480명의 평균 나이는 40.2 ± 10.3 년이며 남자가(477/480) 많았는데
 - 477명 중 465명(97%)의 응답자가 작업중에 전기쇼크를 경험했으며
 - 477명 중 123명(26%)의 응답자가 손상을 목격한 것으로 나타나고 있다.
- 전기손상의 가능성이 얼마나 빈번히 있었느냐는 물음

에 응한 전기원 477명 중 278명(58%)이 “매일”이라고 대답하였다.

위에서 알 수 있듯이 전기 위해는 항상 위협에 처해 있는 종업원의 관심사인데도 불구하고 그것이 전기적 접촉에 노출(무방비 상태)되어 있는데 대하여 한치의 오차도 없는(Zero-tolerance) 상태로 전환되지는 않고 있다는 사실이다.

더욱이 응답자 거의 대다수가 쇼크를 경험하였다는 사실은 이러한 경험은 수용할 수 있다는(Acceptable) 것을 시사하고 있다.

운전정지, 프로세스 방해(Proces Disruption), 또는 작업자에 대한 손상으로 빚어지는 전기사고는 미 연방, 주 및 조직의 가이드라인에 규정된 대로 보고되어야 한다. 반면에 수차례의 빈번한 사고가 감독기관 또는 외부 조사(Scrutiny)에 의뢰되지 않고 있다는 것이 일차적(Anecdotal) 증거로 시사되는 바이다. 실제로 손상사고가 현장에서 발생할 경우 때로는 “말 안하는 편이 더 좋다(the less said the better)”라는 태도로까지 나타나고 있는 실정이다.

사고데이터의 정확한 내용도 다음을 포함하는 전기시설의 위해(Hazard)지역을 관리하는 모든 관련자에게는 극히 중요하다.

- 교육자 및 훈련생
- 기술기준 및 규정 담당자(작성자)
- 조직의 안전관련 목표 및 목적을 설정하는 정책 결정자
- 전기제품 제작자
- 설계자, 기술자 및 전기원과 작업장에서 매일 기술(Skill)을 발휘하는 사람

이 글에서는 자료분석과 사례연구를 병행하는 가운데, 전기안전을 둘러싼 조직문화와 관리시스템의 개선을 위하여 한 회사가 어떻게 정보수집 작업에 착수했으며, 전

기 사고의 제한과 관련하여 얼마나 인식하고 있었는지를 예로서 보여주고 있다.

그리고 비즈니스, 제작, 엔지니어링 및 안전과 규제로 인한 문제 등을 논의하고, 국가와 산업분야 전기사고의 감소를 위하여 사망자 데이터도 검토하였다.

2. 사례 연구

1988년에 어느 대형 화학회사가 전기 위해에 대한 노출의 위험을 보다 잘 관리하려는 노력을 시도하였던 예를 소개한다.

첫번째로 이 회사는 각 설비에 대한 전기안전책임자의 내부 네트워크를 결성하였다.

이 네트워크의 우선초점은 이제까지의 전기 손상들이 바로 전기사고에 관한 유일한 증거이며 유효한 측정기준이었기 때문에 이를 토대로 위험한 전기손상의 횟수를 감축시키자는 것이었다. 전반적으로 심각한 손상이 없는 전기사고 보고서는 경우에 따라서는 검토되지 않았었다. 명확한 손상은 입지 않고 전기쇼크를 경험한 사람은 전형적으로 그들의 노출로 인해 일어날 수 있었던 심각한 결과를 인식하지 못하기 때문이다.

다음으로 전기사고 데이터베이스는 퍼포먼스 분석과 개선시의 우선순위를 지원하기 위하여 설계되었다. 데이터베이스를 이행하기 위해 극복해야 할 첫번째의 장벽은 무엇을 전기사고로 간주할 것인가를 결정하는 것이었다. 콘센스 결과를 표 1에 요약하여 전기사고(사건)에 대해 정의하고 있는데, 한 이벤트가 보고할 만한 전기사고였는지를 사람들이 평가할 수 있는 방향을 제시해 준 것이다. 그리고 사람들이 이러한 뜻을 수용함으로써 전기안전에 대한 이해와 경계(Awareness)가 증진되었다. 사고(사건)는 그들이 당초에 믿었던 것보다 훨씬 빈번하게 발생했다는 것을 인정하기 시작하였다.

〈표 1〉

※전기사고(사건, Incident)의 정의
 전기사고라 함은
 - 전기적 섬광(Flash) 또는 화상
 - 50V 이상의 전원으로부터의 전기적 쇼크
 - 전기적 쇼크에 대한 반사 행동
 등으로 인하여 손상이 일어날 수 있는 전기시설 (Installation)에서 개인의 행동 또는 기기의 고장 등의 결과를 나타내는 이벤트(Event)를 말한다.

데이터베이스는 사고조사에서 얻은 정보를 파악하기 위한 구도로 짜여졌다. 그리고 정보는 회사의 전기안전 네트워크에 따라서 분배된 사건 보고서에서 추출되었다. 사고보고서 작성에 기여하는 기술전문가가 다양할 경우, 데이터베이스에서 정보를 추출해 내는 사람은 전기안전 및 사고조사에 아주 많은 경험을 갖고 있어야 한다. 이러한 사람은 데이터베이스에 있는 사고보고서로부터 사실을 전달하는데 일관성이 있어야 한다.

데이터베이스 분야는 다음과 같다.

- 날짜 : 계절 또는 생산계획 관련사항에 대한 분석에 적용되나 요약보고서에는 표시되지 않음
- 현장 : 위치별 경향을 식별하기 위함이며 설비의 요청에 따라서 규정된다. 현장은 요약보고서에 표시되지 않음
- 설명 : 전기사고를 한 문장으로 간단히 기술
- 원인 : 사고(사건) 가능 원인을 간단히 기술
근원적인 원인 결정을 유보하면서 최선의 유용한 정보를 가지고 완성
- 통계 : 기기 고장의 경우에서처럼, 회사 고용인은 P, 도급자 고용인은 C, 사람이 현장에 없었던 사고는 U로 하여 사고에 관련된 사람의 명단을

을 표시

- 기능 : 언급된 고용인의 직업내용
전기기능인의 코드는 E, 알파 키는(배관공을 P로 표시하는 것처럼) 수행되고 있는 기타작업을 나타내기 위하여 적용
- 전압 : 100V 이하, 100~250V, 250V~600V, 600V 이상의 4개 범주의 하나에 관련된 전압
- 에너지 레벨 : 아크플래시 위험 및 예상 안전작업경계의 가능성을 평가하기 위하여 적용되었다.
- 손상 : 손상으로 보고된 것은 Y, 비(非) 손상으로 보고된 것은 N, 전기쇼크 손상으로 보고된 것은 S
- 위해 : 플래시 위해에 대한 노출의 추적, 쇼크 위해에 대한 노출, 운전 과정에 대한 위해 및 기타 위해
- 관련기기 : 사고에 관련된 기기를 추적

3. 사례연구의 결과

전기사고 데이터 수집의 착수과정에서 처음에는 사고 보고서 작성을 분담하는데 다소의 저항이 있었으나, 사고에서 배울 수 있는 것에 대한 중요성을 강조함으로써 대부분 해소되었다.

각자의 사고보고서는 각 회사의 E메일을 통하여 광범위하게 분배되었다. 분기별 분류표 및 연간 요약보고서는 각 설비 가운데서 관련 퍼포먼스에 대한 부정적 이해를 피하기 위하여 사고가 발생한 설비의 확인을 생략하였다.

이들 사고내용을 분배하기 위한 보고서 작성에 데이터베이스의 정보는 충분하였다. 데이터 분석은 현장에서 전기안전팀이 직면했던 여러 가지 관심사항에 대해 통계를 제공하는 등 많은 면에서 도움이 되었다.

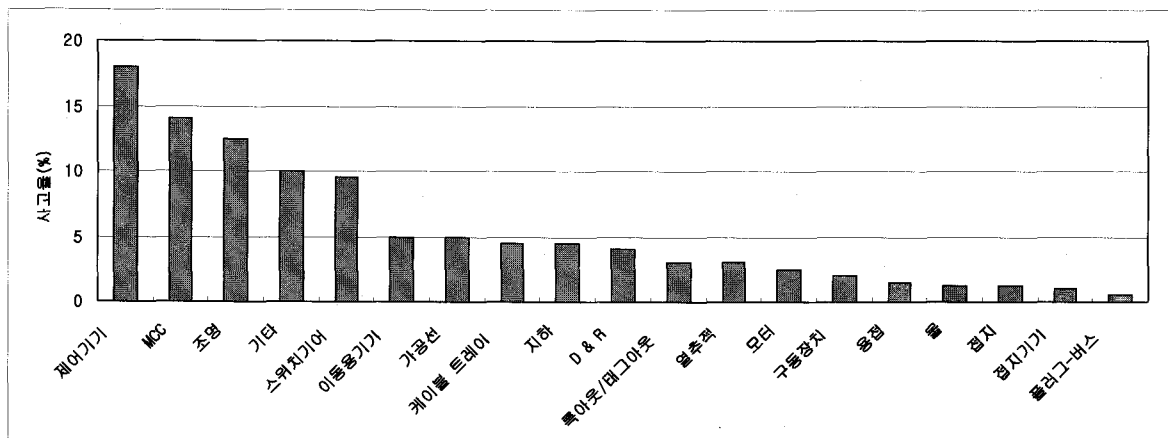
그림 1은 최초로 보고된 사고 597건에 대한 데이터를

손상	위해					관련기기													기타							
	플래쉬	쇼크	운전	화재	기타	MCC	제어기기	스위치기어	열추적	지하	가공선로	이동용기기	조명	응접	케이블트레이	구동장치	모터	플러그-버스터트	정지기기	접지	D/R	록아웃/태그아웃	물	기타		
사 고	26	172	285	45	41	45	80	104	64	13	27	28	34	75	10	28	13	11	3	7	5	24	14	7	63	
총 사고 횟수 - 597																										
*통계									*기능별									*기타								
122 불참석									163 전기원									17 120V 이하								
203 플랜트 종업원									62 운전원									167 120V ~ 240V								
200 도급자									27 배관									199 480V ~ 575V								
26 전기위해로 인한 손상									34 토목건축									45 600V 이상								
3 비 전기위해 손상									2 사무지원									71 손상을 입지 않은 전기쇼크의 수								
3 응급치료									10 유지보수									10 손상을 입은 전기쇼크의 수								
									1 온도기록									81 전기쇼크의 총수								
									24 기기운전원									12 아크플래시 손상의 수								
									2 계기																	
									1 설계																	

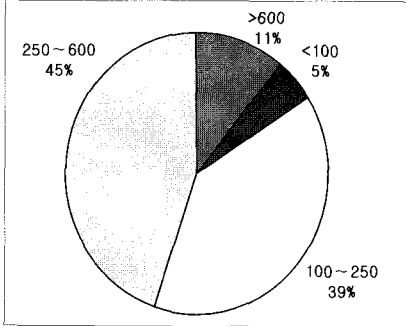
〈그림 1〉 전기사고 597회의 분석표

요약한 것이며, 이 정보를 그림 2~6에서 그래프로 나타내었다. 전기사고 데이터 분석의 전기안전 네트워크화는 사고에 대한 경고를 지속적으로 인식할 수 있도록 기여하

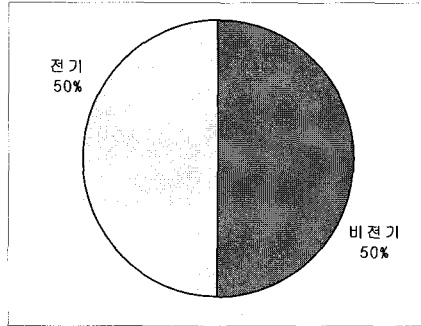
고, 그들의 안전 프로그램의 효율성에 관해 현장에 피드백하고 보다 개선된 기회를 식별할 수 있도록 도와주었다.



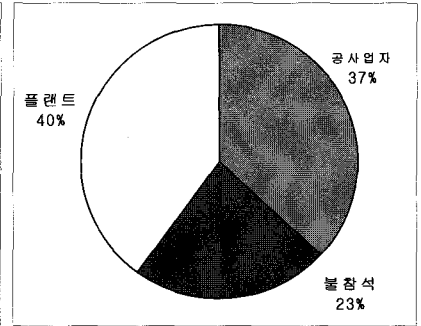
〈그림 2〉 전기사고 기기 요약



〈그림 3〉 사건에 관련된 전압



〈그림 4〉 사고에 관련된 기능



〈그림 5〉 사고현장에 노출된 사람

가장 중요한 결과는 사람과 환경에 대한 '제로 손상'(Zero Injuries)의 목표를 위해 시연된(Demonstrated) 충격이었다. 1997년에 이 회사는 글로벌 운영을 통하여 전기 위험으로부터 'Zero 손상'(無危害) 600 연속일을 초과 달성하였다.

데이터베이스의 설계와 그 정보에서 얻어낸 지식을 적용하게 된 것은 이 소식통을 어떻게 사용해야 하는가에 대한 이해와 그 필요성을 바꾸어 설명함으로써 지속적으로 발전시키는 계기가 되었다.

데이터베이스의 보강에는 다음 내용이 포함된다.

- 시스템과 조직문화의 관리에 있어서 근원적 원인을

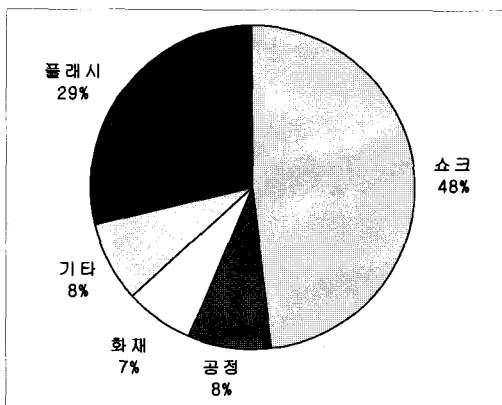
밝혀내기 위한 사고조사 과정을 명확하게 하기 위하여 정보를 사용

- 관리 또는 업무담당 책임자와 통신을 할 수 있는 최선의 방법 개발
- 안전, 신뢰 및 기타 개선 목표를 달성하기 위하여 유용한 많은 정보에 대한 사고보고서를 발굴(Mining)하는 데이터

4. 일아야 할 사항

이 사례연구는 한 회사가 전기안전훈련, 작업관리 및 시설에 영향을 미치는 결정을 할 때 자료를 제공하기 위하여 종업원 네트워크와 정보수집 프로세스를 어떻게 이용하였는가를 보여주고 있다.

전기사고 데이터베이스의 완성으로 전개된 지식-경영 전략은 전기안전 퍼포먼스의 개선에 아주 중요한 역할을 하였다. 데이터베이스에서 도출한 보고서와 차트는 개선 기회에 대한 지속적인 흐름을 나타내주고 있다. 가장 흥미 있는 소득의 하나가 운영과 관리를 통하여 분담된 자료에 사람이 어떻게 응답하여 왔는가이다. 정보는 데이터베이스에서 추출되고 분배됨으로써 사이트에 있는 사람들이 보다 많은 정보를 공유할 수 있게 된 것이다.



〈그림 6〉 사건에 관련된 위해

모든 업무와 관리 레벨에서 공유된 정보는, 전기안전은 잘 관리되어야 하는 주요분야라는 것에 대해 회사 전체의 이해 조성에도 큰 도움이 되었다. 데이터베이스는 니어미스(Near-miss)와 중대사고(Critical Incident) 등이 통계적으로 또한 현상학적으로 관련되어 왔다는 것을 처음 설명한 Heinrich 씨의 개념 전달에서도 실용적인 도구(Dynamic Tool)로 사용되어 왔다.

그림 7에 설명한 대로 Heinrich의 이론은 니어미스는 심각한 손상으로 이어질 수도 있지만 대부분은 아니라는 것이다.

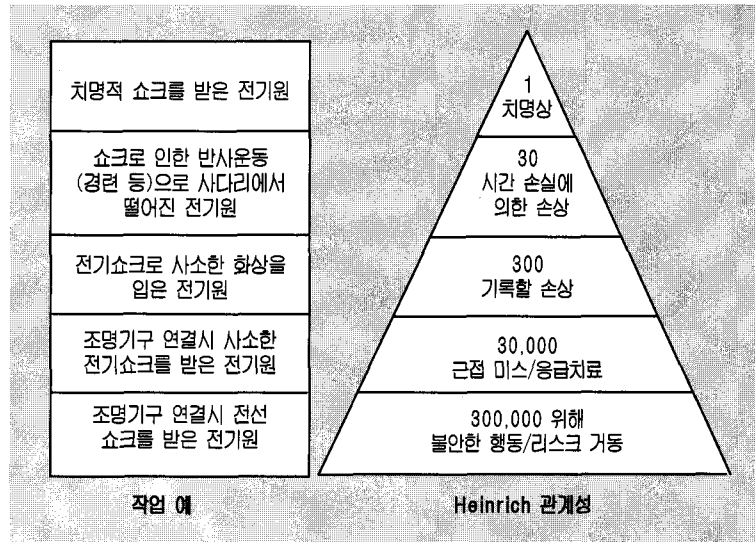
Heinrich는 사건(사고)의 피라미드 예의 도해에서 포착된 통계적 관계성을 제시하였다. Heinrich의 관계성의 의미(Implication)는 다음과 같다.

만약 치명상 또는 심각한 손상에 대한 정보에만 의존하지 않고 니어미스 사고에 관한 것이 식별 및 분석되었다면, 사고의 체계적 원인을 강조하고 경향을 분석할 수 있었으므로 더 많은 데이터를 얻을 수 있었을 것이다.

또한 데이터베이스로부터의 정보는 아래에 기술하는 것을 포함하여 개인적 또는 조직적 오해(Misperception)를 변화시키는데 도움이 되고 있다.

즉, 전기안전이 고전압과 관련된 문제라는 것은 잘못된 인식이었다. 그림 3의 데이터에 나타난 바와 같이 사건의 40% 이상이 250V 이하에 관련되고 있음을 알 수 있다. 회사의 전기안전 프로그램은 전기보수 및 건설공사 관계에 완전히 초점을 맞추어 왔다. 그러나 데이터베이스는 보고된 사고의 거의 절반이 전기원 이외의 사람이 개입되었다는 것을 보여주고 있다(그림 4 참조).

이들 작업에서 잠재적으로 전기 위해에 노출된 모든 사람도 교대시에 안전교육에 포함을 시켜야 할 것을 말하고



〈그림 7〉 Heinrich 이론의 도해

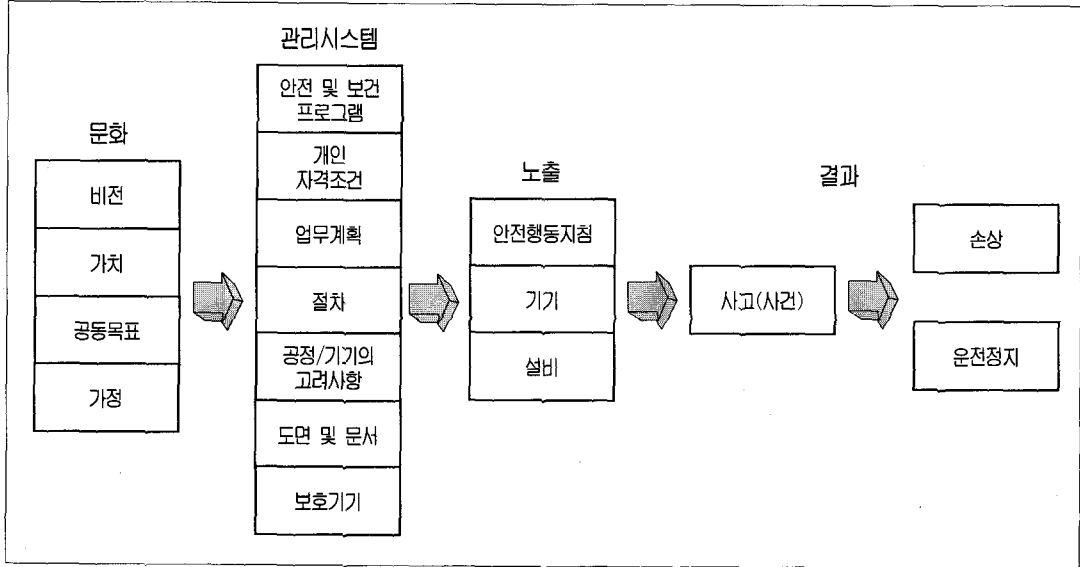
있다.

통상적인 믿음은 공사업자들이 대부분의 사고에 개입되었다는 것이었다. 이에 반하여 그림 5는 회사의 종업원은 보고된 사고의 절반 정도에만 개입되어 있음을 보여주고 있다.

데이터의 시간-경향(Time-Trend) 분석에서는 쇼크사고가 증가했을 경우 1996년에는 6주간의 조기 탐지를 할 수 있도록 허락했다. 이 조기 탐지는 조정(Intervention)을 초기에 완성하게 함으로써 장·단기 이득을 제공하였다.

예를 들면, 전기사고의 근원적인 원인을 보다 더 잘 이해하게 되는 것이다. 이러한 이해는 전기손상 원인의 제거에 대하여 조직적인 광범위한 감사(Appreciation)로 유도되었다. 전기 위해에 관련된 사고는 프로세스, 관례 및 전기에너지·제어시스템 관련기기의 결합에 대한 징후로 인정을 하게 된다는 것이다.

근원적인 원인과 사고 그리고 그들의 결과들 사이의 관계를 그림 8에 도시하였다. 이 모델은 전기안전에 영향을



<그림 8> 전기사고와 그 결과에 대한 체계적 원인의 관계성

주는 관리시스템의 효율적인 개선 여부는 니어미스 사고 데이터에 나타난 결함을 식별하는 능력을 향상시키는데 달려 있음을 암시하고 있다. 이 모델에서 손상이나 운전 정지와 같은 바람직하지 않은 결과는 안전행동, 기기 및 설비 사이의 상호작용의 흐름으로 나타내고 있다. 이들은 차례로 조직의 관리시스템과 문화로부터 얻어지게 된다.

이 구도에서 비전, 가치, 공동목표 그리고 가정을 통하여 표현되는 관리시스템과 조직의 문화는 행동, 기기 및 설비 사이의 상호작용의 특성, 완성도 및 품질에 영향을 미친다.

비즈니스, 제작, 엔지니어링, 현장안전, 규제준수의 실생활에서, 전기에너지와 제어시스템의 보장을 위해 다음과 같은 조치를 취한다면 가시적인 개선이 이루어질 수 있을 것이다.

- ① 사람에 대한 손상 방지
- ② 에너지 및 원자재 낭비의 최소화

- ③ 프로세스 안전과 환경사고의 방지
- ④ 피해로부터 자본투자를 보호
- ⑤ 운전 내용(耐用)시간의 증가

소득의 범위는 어찌면 매우 클 수도 있다. 1992년에 미국에는 54만이 넘는 전기 작업자가 있었다. 1994년 노동 통계국 자료는 전기화상, 감전사, 전기쇼크 손상 그리고 화재 및 폭발로 인하여 일터를 떠난 예가 11,153건으로 보고되어 있다. 1994년에 치명적 손상에 관한 통계는, 전국적으로 총 6,588명의 작업관련 사망자가운데 전기(전류) 노출, 화재 및 폭발로 죽은 종업원이 548명이라고 기록하고 있다.

감전사는 건설관련 참사 원인 중 두번째로, 가장 대표적인 원인이 되고 있다. 미국 화학산업에서 5년 동안의 사망자 중의 56%가 화상, 화재 및 폭발에 기인하였는데, 대개 이런 사고의 원인은 전기작업과 관련되어 있었다.

전기사고의 비용과 관련한 재정기준(Financial Benchmark)이 가공산업계 내에서는 대개 준비되어 있

지 아니하다. 그러나 Wyzga 및 Lindroos는 '90~'92에 Union 전기원을 고용한 미국 공공전력회사의 전기손상에 대하여 측정 예측한 직·간접비용을 요약하였다. 전력회사의 연구기간 동안, 회사 전기사고의 2%로 할당된 연구비용이 연도에 따라서 28% 또는 52%였다. 1998년 US달러로 사례당 보고된 비용은 약 1575만불이 되는 것으로 추정되었다.

미국의 국가 및 산업 전기안전사고와 사망자에 대한 데이터는 역사적으로 제한이 되어 왔다. 이 정보는 전 미국을 통하여 보고되는 사망 증명서(Death Certificate)의 정확한 통계이기 때문에 사망 사고에 대하여는 가장 신뢰할 수 있다.

그러나 사망증명서는 그 사고참사에 대한 시나리오 등 상세한 내용을 제공하지 않으며, 희생자가 전기사고 후에 죽을 경우에는 사망의 근원적 원인에 대하여 잘못 분류될 수도 있다. 따라서 본질적으로 사망데이터는 그들의 경험에 대한 개인의 통계에 크게 도움이 되지 못한다.

〈바나나 플러그 이야기〉

모터 스타터의 전압을 테스트하는 동안에 두 명의 전기원이 심한 화상을 입었는데 한 명은 치명적이었다. 한 사람은 멀티미터를 잡고, 다른 한 사람은 전기가 들어온 터미널에 테스트 프로브를 대었다. 한 전기원의 뜻하지 않은 행동이 테스트리드 바나나 플러그를 멀티미터 잭에서 분리시키는 결과를 낳았다. 바나나 플러그는 테스트회로에 충전되고, 모터 컨트롤센터의 접지된 금속외함과 접촉하여 고압의 전기 아크를 유발하였다.

사고 이력은 앞의 「바나나 플러그 이야기」의 예와 같이 통계와 실제 일상생활간의 이해를 구축하는데 유용하게 이용될 수 있다. 이 사례에서 설명된 시나리오는 그 상

황에서 독자가 그들 자신을 볼 수 있게 하고 교육적 측면에서 규칙, 관례, 코드, 표준 및 규제 등의 가치를 창조할 수 있게 한다.

그러나 한편으로는 개인 및 관련 고용주에 대한 사생활(Privacy)의 문제이기 때문에 분배 또는 발표하는 것이 어려운 것 같다. 더욱이 역사는 통상적으로 개인 에피소드에 초점을 맞추기 때문에 경향이나 체계적인 어려움에 대해 설명할 수 없다.

Wyzga와 Lindroos는 최근에 단지 몇 개국에서 얻은 전기손상의 비율만을 가지고는 전기손상 통계가 포괄적인 근거가 될 수 없다고 지적하였다.

향후 연구기회는 전기손상 방지에 필요한 지식의 확보를 위한 자금을 늘릴 수 있도록 통계 정보 등을 포함한 종합사고 이력에 달려 있다고 할 수 있다. 전기사고에 대한 보고의욕을 저해한다는 설명을 하기 위하여 연구프로젝트는 다양한 환경에서 전기 사고(Event)에 관한 통계 및 시나리오의 저장소로서 행동할 수 있도록 익명의 보고서를 등기로 보내기 시작했다.

5. 맺음말

미국산업응용협회(IAS)의 석유화학산업위원회(PCIC)는 작업현장에서 전기손상의 예방에 기여할 수 있도록 기술, 표준 및 작업지침을 개선하고 발전시키기 위한 리더쉽을 과시하였다. 연례기술대회에 추가하여 PCIC는 규제, 기술 및 작업지침의 개선과 효과적인 착수에 도움을 줄 문화적 변화를 가속화하기 위하여 연례 전기안전 워크숍을 후원하고 있다.

이러한 문화적 변화의 중심부에 정보가 있다. 지식-운영 전략을 통하여 사람과 공정(Process)을 통합함으로써, 회사는 그들이 경험한 유용한 정보를 채택하여 전기안전 퍼포먼스에 영향을 줄 수 있게 될 것이다.