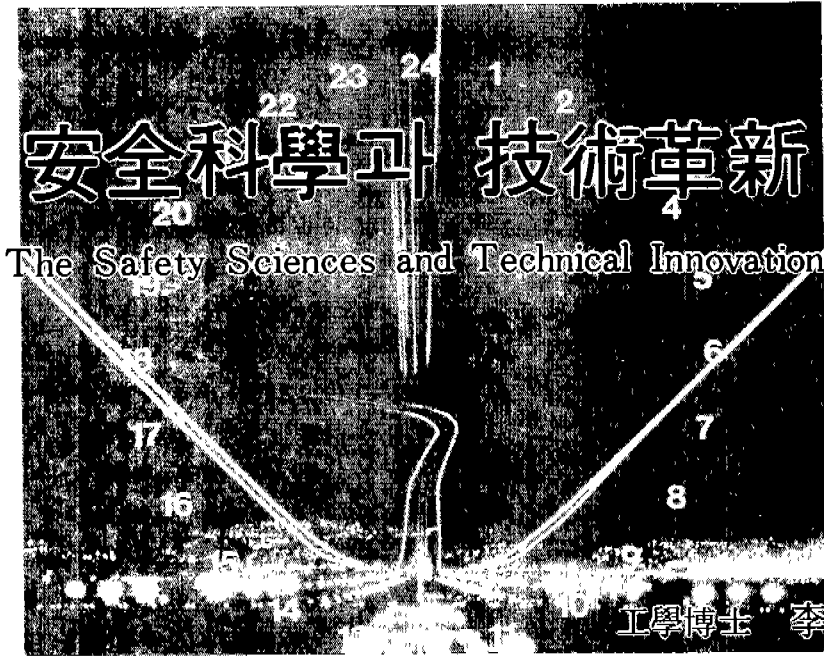


(1)



李根喆

韓國産業安全公團 産業安全保健研究院

### 1. 序 論

어린이가 成長하는 데 따라서 지혜롭게 되듯이 人間도 시대와 함께 성장하여 지혜도 더 발달한다.

인류가 木材를 마찰시킴으로써 불을 발명한 이래로 연료는 석탄, 석유, 원자력으로 代替되었으며 이에 따라 새로운 잠재 위험성이 발생하게 되었다.

표 1은 技術開發과 이에 따른 잠재 위험성을 든 것으로서 새로운 기술이 개발되면 새로운 형태의 災害가 발생하는 것을 나타내고 있다.

그러나 인간은 사고에서 배우고 안전 기술에 의하여 재해사고를 예방하며 한결음씩 문화생활을 향상시켜 왔다.

그림 1은 이러한 경향을 모델화한 것으로서, 새로운 尖端技術이 개발되면 사회양식이 변모하는데, 사회도 또한 생활수준을 향상시키기 위하여 기술개발을 요구해 오기 때문에 社會와 技術은 한없이 相關的으로 변모하면서 성장해 나가

고 있다.

최근의 공장은 巨大化되고 복잡화되어 취급하는 에너지 量도 莫大하기 때문에 에너지 콘트롤에 失敗하는 일이 있으면 에너지는 暴走하여 大事故로 확대될 가능성이 있는 것이다.

따라서 과거와 같이 試行錯誤에 의하여 안정성을 확인하는 것이 곤란하게 되었으며 事故에서 배우는 것 보다 사고를 先取할 필요성이 생기게 된 것이다. 즉 새로운 危險(Risk)을 豫知·豫測할 필요성이 발생하게 되었다.

#### 1.1 安全活動의 歷史

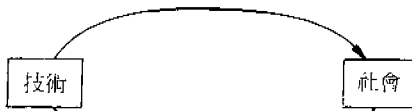
中世期頃 인류생활의 주체가 牧畜農耕에서 機械工具를 사용하는 鑛工業으로 移行되었고 이에 따라서 人爲的인 災害가 발생하게 되었다.

1765년 와트가 증기기관을 발명한 것을 계기로 産業혁명이 발생하였고 家内工業에서 工場조직의 産業으로 이행되었다.

그 當時 보일러의 폭발사고가 頻發했는데, 1815년 런던에서 발생한 폭발사고가 契機가 되

〈표 1〉 技術開發과 潛在危險性

개발기술	잠재위험성
불	火傷·火災
원자력발전소	방사선 오염
증기기관	보일러의 破綻
火藥	爆發
石油化學	爆發·火災
항공기	추락
고속교통 시스템	교통재해



尖端技術이 社會를 變貌시킨다



社會가 技術開發을 要求한다



技術과 社會는 相關的으로 變모한다

〈그림 1〉 기술개발과 사회의 대응

어 영국 의회가 원인조사를 하여 法制化가 시작되었고 檢査會社가 창설되었다.

미국에서도 1866년 미국기계학회(ASME)가 창설되었고 정부의 요청에 의하여 原因調査가 실시되었고 현재의 壓力容器構造規格의 元祖인 ASME 코드가 1915년에 처음으로 制定되었다.

한편 日本의 安全運動을 보면 明治時代는 生産 第一主義時代였다. 예를 들면 鑛山에서는 明治 30년(1897년) 前後에 年間 死傷者가 30명이었는데 1905년에는 13,409명, 1913년에는 134,782명으로 늘어났다.

또한 女工哀史로 알려지고 있는 紡績工場에서는 1900년경의 노동자 사상자수는 노동자 총수의 84%에 도달하였고 1910년 무렵에는 공장에서 일을 하는 部落은 歸郷女工에 의하여 肺結核 部落으로 變化하였다고 한다.

이와 같은 배경으로 공장법에 의한 規制가 국민의 관심사가 되어 1911년에 議會에서 工場法이 제정되었으나 시행된 것은 1915년이었고 이것은 英國에 비하여 약 80년이 늦어진 것이다.

이어서 1942년에 日本산업안전연구소가 설립되었고 1947년에 노동성이 탄생되어 일본의 산업안전활동은 본격적으로 시작되어 오늘에 이르고 있다.

그 당시의 安全活動은 安全意識의 高揚과 같은 精神運動이 主体였다. 예를 들면 戰時中에 발간된 安全符號의 저서에는 다음과 같이 기재되어 있다.

「사람과 物品을 소중히 하여 이것을 손상시키지 않고 생산을 높여 간다는 것은 산업인으로서의 責務를 수행하는 것으로 産業報國은 이것 이외에는 없다고 생각한다」 또한 「부상을 겹쳐 너무 소극적이 되면 정당한 작업도 할 수 없고 생산은 감퇴된다. 그러나 너무 積極性이 지나쳐도 작업전체의 円滑性이 缺如되어 災害를 증가시키는 것은 잘 알려진 사실이다.

生産高를 높이려고 서두르는 경우에는 생산의 수량은 증가하지만 불량품이 많고 또한 재해도 점차 증가하게 되는 것이다.

이 경우 재해의 원인을 보면 不良品을 만드는 원인과 같은 것이 적지 않다. 즉 작업 동작상의 실패가 있을 때에는 부상을 입게 되며 어떤 때

에는 불량품이 생기며, 어느 경우에는 기계나 도구가 損傷 받는다」

그러나 이와 같은 安全管理로는 격증하는 재해사고를 예방할 수가 없게 되었다.

### 1.2 安全工學은 總合的인 學問

최근에 인터 디시프리너리 어프로치 (Inter Disciplinary Approach) 또는 멀티 디시프리너리 어프로치 (Multi Disciplinary Approach) 라는 말이 사용되고 있다.

번역하면 前者는 학문의 경계영역에서의 접근이고 後者는 多領域學門에서의 접근이다.

技術이 발전하는 데 따라서 기술자의 전문영역은 깊고 좁아져 연구소에서나 작업장에서나 분업화가 되고 있다.

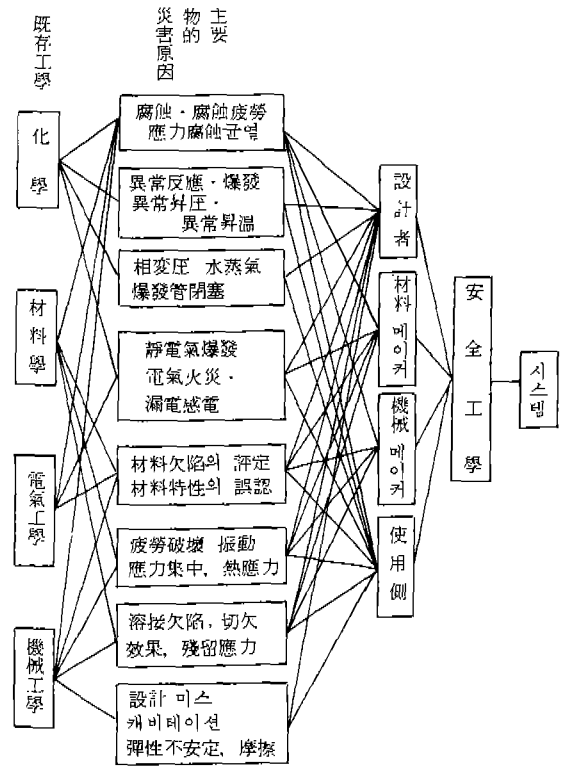
또한 境界領域이 있기 때문에 盲點으로 되어 연구가 지연되어 災害가 發生되고 있는 예가 있으며, 따라서 경계영역에 관한 문제점을 취급하는 學問이 있다.

安全工學이란 人間因子를 포함하여 總合적인 조사연구를 행하고 시스템으로서의 결함을 발견하여 재해를 미연에 방지하려고 하는 學問이다.

그림 2는 機械構造의 결함에 의하여 발생한 재해사고를 예로 하여 이와 같은 종류의 재해사고 방지대책에 관여하는 사람과 既存의 學問體系의 관계를 模式化한 것이다.

이 그림에서 재해를 방지하기 위해서는 모든 학문의 지식과 인간관계를 알고 있어야 한다는 것을 알 수 있다.

또한 기존의 공학은 人間因子와 대부분 관계가 없는 학문이고, 안전공학은 人間工學, 信賴性工學, 管理工學과 마찬가지로 새로운 학문으로서 사람과 물건과의 양면에서 分析해 가는 시스템 공학인 동시에 위험성의 豫知·豫測에 대한 경계영역의 접근 내지는 다영역학문의 접근이라고 말할 수 있다.



〈그림 2〉 既存工學과 安全工學의 關係

## 2. 安全을 위한 시스템 工學

시스템이란 「多數의 構成要素가 有機的인 질서를 유지하고 同一目的을 향하여 행동하는 것」이라고 정의되고 있다.

따라서 생산을 영위하는 事業所는 사람을 포함한 機械要素로 성립되는 시스템으로 볼 수가 있다.

시스템 工學은 「시스템의 목적을 가장 효과적으로 달성하기 위하여 對象인 시스템의 構成要素, 組織構造, 情報의 흐름 및 制御機構 등을 분석하여 설계하는 기술」이라고 정의된다.

「사슴을 쫓는 사냥꾼은 산을 보지 못한다」라

는格言이 있는데, 山이라는 큰 시스템 속에 들어 버리면 以外로 人間이란 自己의 주변에만 몰두하여 전체를 볼 여유가 없어서 큰 虜獲物을 놓쳐 버리는 것을 비유한 것이다.

산업의 近代化와 함께 기술은 分業化되고 社會는 많은 인간활동의 종합작용에 의하여 움직이게 되었다. 다시 말하면 各各의 要因을 어떻게 활용하면 시스템 전체가 시간적으로도 경제적으로도 有效하게 운영할 수 있는지를 고찰해 보는 학문이 시스템 工學이며, 各 要因을 어떻게 콘트롤하면 시스템으로서의 災害를 방지할 수 있는지를 고찰해 보는 것이 시스템 安全工學인 것이다.

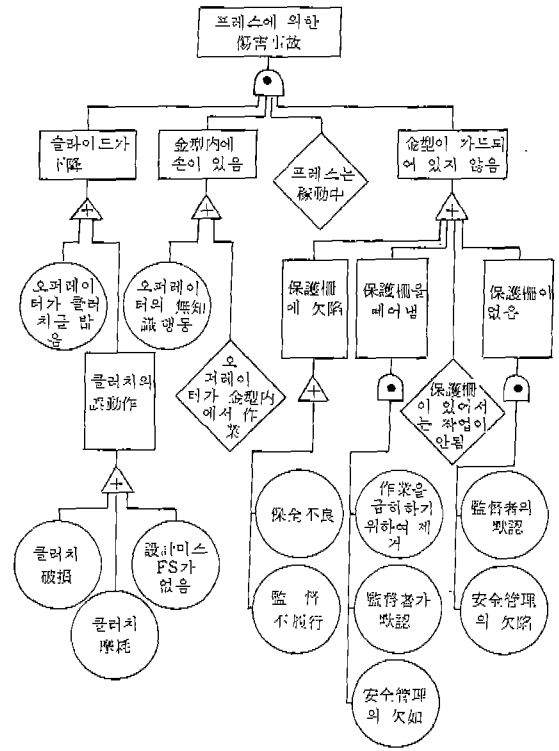
이와 같은 사고방식도 도입되고 있는 分野가 OR(Operatoin Research), QA(Quality Control) 및 IE(Industrial Engineering) 등이며 시스템 공학에 의하여 접근해 가는 순서를 보면 4 가지 단계를 들 수 있다.

제 1 단계는 애널리시스라고 하여 現狀 시스템을 각 요인으로 분석해 보는 것이며, 둘째 단계는 시스템 설계라고 하여 各 要因의 관계를 도표로 표시해 보는 것으로, 이와 같이 함으로써 대국적인 입장에서 盲點이 없었는지의 여부를 판단할 수 있다.

가령 災害想定에 외거하여 防災 어세스먼트가 실시되고 그 결과를 피드백하여 設備의 재해방지계획이 그대로 적용될 수 있다.

제 3 단계는 제 2 단계에서 작성된 흐름도를 數學的 모델로 표시해 보는 것으로서 시뮬레이션이라고 하는데, 블록 다이어그램으로 표시하여도 되나 플트트리(FT, Fault Tree)가 널리 사용되고 있다.

그림 3은 프레스에 의한 傷害事故를 FT로 표시한 것으로서 事故와 발생요인과의 인과관계를 AND(論理積)과 OR(論理和)의 기호를 사용하여 표시한 것으로서 頂上事象으로부터 차례로



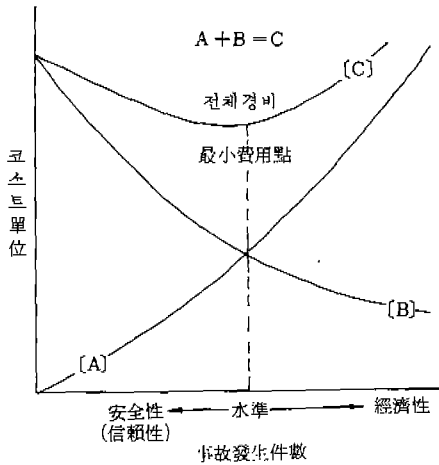
〈그림 3〉 프레스에 의한 傷害事故의 FT(缺陷樹)分析

하단을 향하여 원인을 해석해 나가는 것이다.

따라서 최하단의 要因發生確率을 알면 頂上事象의 발생확률을 용이하게 계산할 수 있으며 頂上事象의 發生確率을 적게 하기 위하여는 어떤 요인을 적게 하는 것이 효과적인가를 推定할 수 있다.

제 4 단계에서는 시뮬레이션한 결과에 대하여 가능한한 定量的으로 평가하여 최적의 시스템 방향을 고찰해 보는 것으로서 最適化라고 한다.

그림 4는 保守性工學, 信賴性工學 등에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 최적화의 방향을 표시한 것으로서, 縱軸에 費用, 橫軸에 事故發生件數 또는 發生率을 取하면 防止對策費와 사



- [A] (a) 單位時間當 劣化損失 또는 事故對策費  
 (b) 故障率  
 (c) 事故에 의한 經費
- [B] (a) 單位時間當 保全費  
 (b) 設備投資額  
 (c) 安全을 위한 經費

(그림 4) 경제적 최적화의 방법

고에 의한 損失과의 總合에서 最適管理點이 구하여진다.

한편, FT分析을 행한 경우에 최하단의 요인 방지대책비와 이에 대응하는 발생 확률을 알면 시스템으로서의 頂上事故의 발생확률과 이에 상당하는 피해의 손해액을 구할 수 있으며 이 경우에 컴퓨터를 이용하면 경제적으로 최적의 관리기준을 용이하게 구할 수 있으므로 시스템 공학은 컴퓨터의 보급과 함께 발전해 온 것이다.

### 2.1 시스템으로서의 安全管理

시스템 安全이라는 말이 美國에서 처음으로 사용된 것은 1948년이다. 항공기를 전문분야가 서로 다른 많은 기술자들로서 프로젝트를 기획하고 있을 때 항공기의 安全性은 強度計算뿐만 아니라 均衡이라든가 밸런스가 매우 중요하므로 시스템 안전은 종합적으로 평가해야 한다고 하

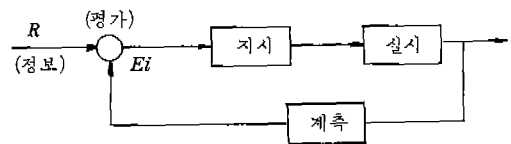
여 시스템 安全이라는 말이 사용되게 되었다.

최근 미국에서는 시스템 安全이라는 책이 많이 발간되고 있는데, 이것들의 공통사항은 安全管理를 시스템으로서 포착하여 시스템 전체의 안전을 고려하는 경우에 安全活動의 成果를 가급적 定量的으로 평가하여 目標에 基準를 設定하고 있다.

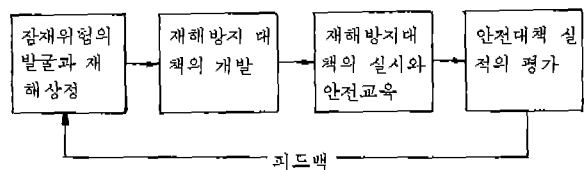
Malasky의 著書인 「安全管理」에서는 안전관리의 방향은 그림 5와 같이 自動制御의 피드백 회로를 표시하고 있다. 그 이후에 이 방식이 보급되었고 어떤 안전전문가는 「테스트에 의한 피드백이 없는 교육은 있을 수 없다」고 말하고도 있다.

한편, 그림 6은 Petersen의 저서인 「안전관리의 방법」에 圖示되어 있는 안전관리자의 職務로서 事故를 先取하여 防止對策을 실제로 實施하는 것이 安全管理者라고 하였으며 일본에서 현재 보급되고 있는 危險豫知活動(KYK)과 비슷한 것이다.

이와 같은 안전활동을 총괄하여 Heinrich의 「산업재해방지론」에서는 안전관리의 최근의 동



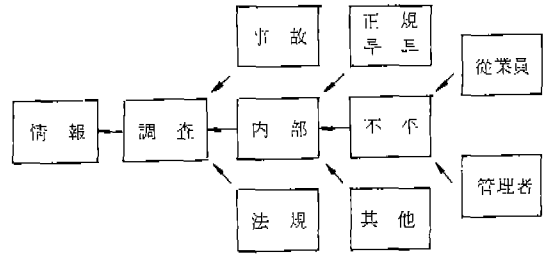
(그림 5) 安全管理의 方向을 나타낸 블록 線圖



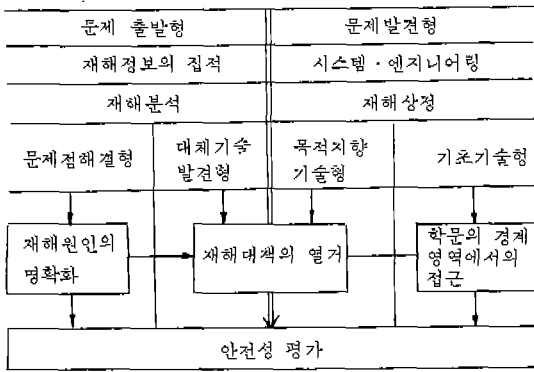
(그림 6) 安全管理者의 職務

향을 그림 7 과 같이 종합하고 있으며 이 그림은工場管理者의 방향을 플로우차트로 표시하고 안전담당자의 자세를 피드백 회로로 표시하고 있다.

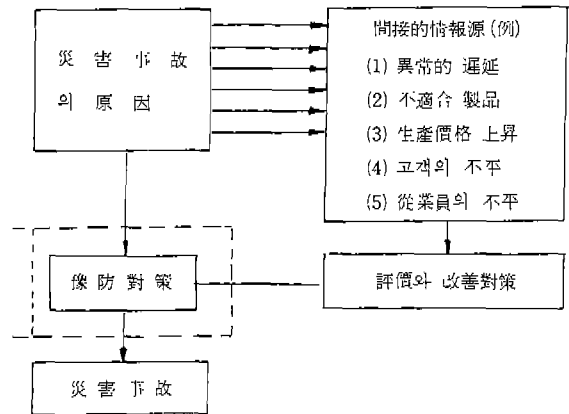
그림 5 와 그림 8 의 입력으로 될 정보는 災害情報가 주체인데 Brown은 그의著書인「시스템의 分析과 安全設計」에서 그림 9, 그림 10 과 같은 간접적인 정보도 參考가 된다는 것을 示唆하



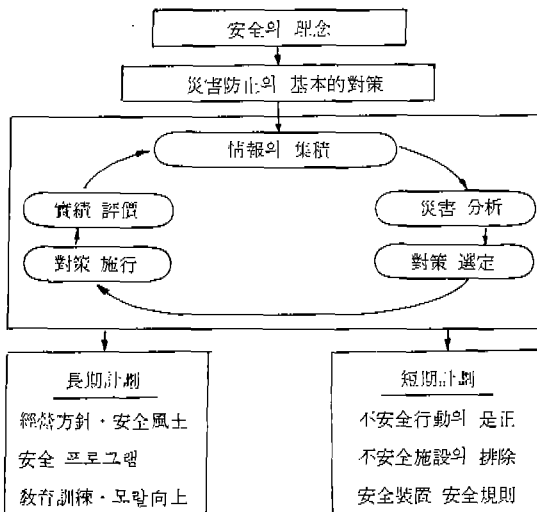
〈그림 9〉 情報源의 概要



〈그림 7〉 시스템의 접근에 의한 安全



〈그림 10〉 災害豫防에 效果가 있는 間接的 情報



〈그림 8〉 安全管理의 最近傾向

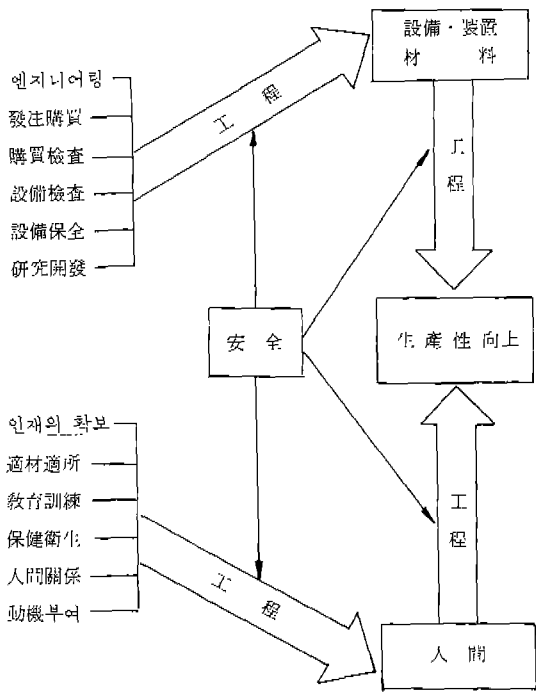
고 있다.

또한 이러한 사고방식을 비약시키고 있는 것이 패터슨이 표시한 그림 11의 安全遂行役割이다.

그림 8, 그림 10, 그림 11에서 보면 일관된 思想은 안전의 이념하에서 구성되어 있는 시스템에서는 그 시스템 하에서 일하고 있는 종업원은 안전함과 동시에 시스템에 의하여 생산된 製品도 안전하며 生産性도 향상된다는 것으로서 어떤 업종에서는 이와 같은 思考方式이 定着되어 가고 있다고 한다.

## 2·2 시스템 安全工學의 실제

工場全体가 一体가 되어 조직적으로 安全을



(그림 11) 安全遂行의 役割

추진해 가는 프로세스와는 달리 예를 들면 시설을 발주하는 경우에는 概念構成段階, 製作段階 및 使用段階와 같이 施設의 一生涯를 시스템으로서 고려하여 安全을 導入하는 방법이 各分野에서 채용되고 있다.

가령 미국 國防省에서는 대형 프로젝트를 발주제작하는 경우를 위하여 개념구성단계에서 설계, 제작, 사용, 폐기에 이르기까지 일관된 시스템 안전 프로그램에 의하여 실행하도록 示方書가 규격화되어 있는데, 다음에 그 개요를 든다.

- (1) 시스템 使命에 適應하는 安全을 설계에 구성시킨다.
- (2) 각 시스템에 잠재하는 위험을 평가하여 허용되는 한계까지 감소시킨다.

(3) 제거할 수 없는 위험에 대해서는 人命 및 財産을 손상시키지 않도록 관리한다.

(4) 새로운 재료, 새로운 생산품 및 新技術 도입시에는 위험을 최소로 한다.

(5) 프로그램을 실행에 옮기는 경우에는 적절한 安全率을 이용하여 安全을 유지한다.

(6) 類似 시스템의 事故例을 참고로 하여 유사 사고의 再發을 豫防한다.

한편 시스템 안전 프로그램의 實行이란 概念構成段階에서 契約段階, 엔지니어링 단계, 製作段階, 運轉 및 廢棄에 이르는 단계까지 제품의 一生涯라는 安全을 工程에 따라서 計劃하고 實行하는 것으로서, 各各을 설명하면 다음과 같다.

첫째 개념구성단계 : 시스템 安全에 가장 영향을 미치는 중요한 단계로서 프로젝트의 安全에 대한 理念에 의하여 시스템 安全設計의 方針과 안전상 문제점의 확인 및 시스템의 제약조건, 위험률, 인간의 역할에 대한 안전성 등이 검토된다.

둘째 계약단계 : 受注를 희망하는 업자가 독자적인 노력으로 수주제품의 안전성 평가와 안전유지에 필요한 조건을 제시하고 수주가 결정된 업자는 다음 사항을 보완하여 보고서를 제시한다.

- (1) 엔지니어링 단계에서 확정해야 할 시스템 安全 프로그램
- (2) 시스템의 안전성에 대한 보고서
- (3) 시방서에 포함시킬 安全上の 요구사항 등이다.

셋째 엔지니어링 실행단계 : 시스템 安全 프로그램을 유효하게 실행해 나가기 위해서는 엔지니어링의 초기단계에서 다음과 같은 安全 프로그램을 완전한 것으로 해야 한다.

- (1) 안전설계방침의 확립
- (2) 潛在危險의 分析和 安全對策
- (3) 設計要目에 대하여 安全性을 證明하기 위

해 필요한 시험 및 檢査方法

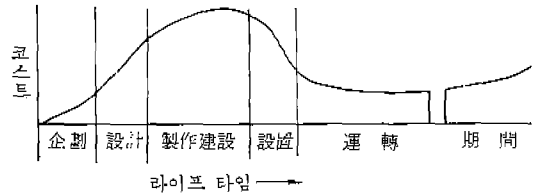
- (4) 설계, 계획의 심사, 운전, 보전 및 긴급처리 등에 대한 제 1차 심사
  - (5) 재해사고 분석과 개선의 권고
  - (6) 설계도, 시방서 등 기술자료의 심사
  - (7) 안전보호구의 확인 및 안전상의 작업 등
- 넷째 제작단계 : 시스템 安全에 영향을 미치는 工作, 組立, 試驗 및 檢査方法을 확인하여 필요하면 修正措置를 취한다. 계획변경이 있는 경우에는 새로운 시스템에 대하여 安全性을 검토한다.

다섯째 운전단계 : 폐기처분까지 포함하여 사용자측의 입장에서 다음 사항을 검토한다.

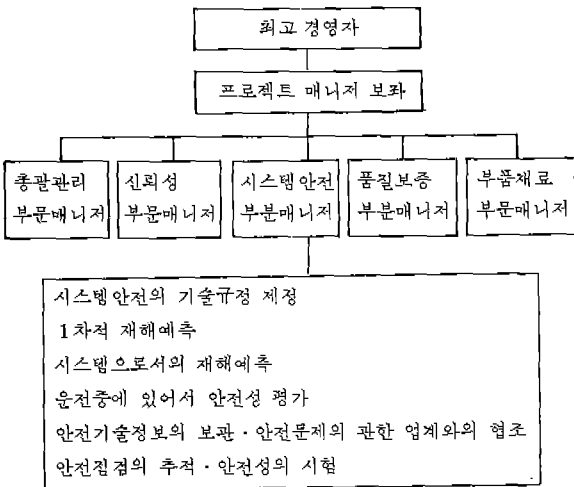
- (1) 설계, 운전, 보전, 긴급대책이 적절한지의 여부
- (2) 설계변경, 機器의 변경이 있을 경우에 본래의 안전성이 손상되지 않았는지의 여부
- (3) 운전, 保全規定에 변경이 있는 경우에 안전상의 입장에서 검토한다.
- (4) 발생하거나 또는 발생할 위험성이 있는 事

안전분석 시기	방법	(검증)	(잠재위험성의 허용한계)	(안전 설계)	(추진)
① 프로젝트의 조사와 일차평가	↓	↓	↓	↓	↓
② 프로젝트결정 · 승인	↓	↓	↓	↓	↓
③ 설계와 구매 발주	↓	↓	↓	↓	↓
④ 전설공사	↓	↓	↓	↓	↓
⑤ 안전심사	↓	↓	↓	↓	↓
⑥ 조업개시 정상 운전	↓	↓	↓	↓	↓

〈그림 13〉 ICI 社의 安全性評價의 順序



〈그림 14〉 시스템의 라이프 사이클 코스트(L. C. C)



〈그림 12〉 시스템 安全 프로그램을 실행하는 경우의 관리조직

故에 대해서 분석하여 개선대책을 세운다.

(5) 사용자로부터 제출되는 결함보고서를 分析한다.

(6) 위험성 있는 材料, 장치의 폐기처분을 심사한다.

이상과 같은 시스템 安全 프로그램을 실행하는 경우의 관리조직은 그림12와 같이 시스템 安全部分의 매니저라고 하는 專門職을 둔 例가 발표되고 있다.

世界의 化學工場에서도 有數한 大會社인 어떤 ICI 社에서는 프로젝트의 개념구성단계에서 운전전에 들어갈 때까지를 一貫해서 그림13과 같은 프로그램에 따라 일정한 기준하에 세이프티 어세스먼트를 행하고 있다.

(다음 號에 계속)