

韓國產業安全公團 産業安全保健研究院

8. 人間 에러의 防止對策

8.1 체크는 많이 할수록 좋다

人間 에러는 運轉操作面뿐만 아니라 設計, 材料, 工作, 保全面에서도 나타나며 재해사고의 원인이 되고 있다.

이 관계를 Event Tree로 표시하면 그림55와 같이 된다.

이벤트 트리는 重大한 事像에서 그 후 處理가 실패인지 성공인지 양자택일적으로 분류하여 최종 결실을 확률적으로 예측하는 방법이다.

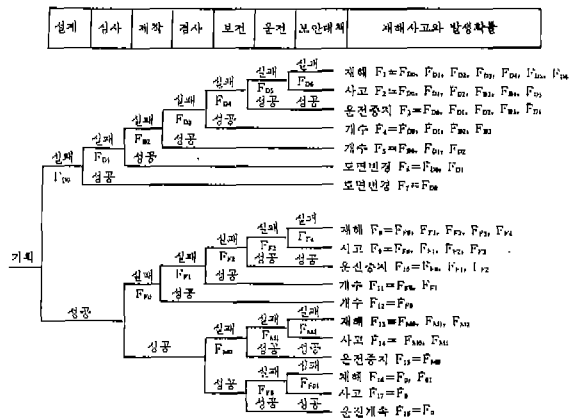
그림55에서 FD는 설계 미스의 확률이며, F_F 는 製作失敗, F_m 은 保全失敗, F_0 는 運轉失敗의 확률이다.

가령 미스가 있어도 다음 단계에서 발견되어 대책이 강구되면 災害에 이르지 않는 것을 圖示하고 있다.

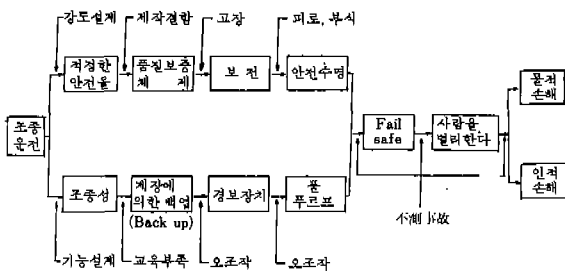
일반적으로 큰 재해는 많은 미스가 競爭된 경

우에 발생하는데, 체크 단계가 많을수록 각각의 미스 발생이 競爭되는 확률은 적어진다는 것을 표시하고 있다.

그림56은 재해사고 방지의 시퀀스의 방식을 표시한 것이다.



〈그림 55〉 재해사고발생의 경과와 그 요인



〈그림 56〉 재해사고방지와 시퀀스적 고찰

8.2 強度上 安全設計와 操作上 安全設計

맨-머신 시스템에서는 강도상 안전한 설계와 조작상 안전한 설계의 두가지 방법이 있다.

원자력발전소와 같은 裝置工業에서는 종전에는 強度上 안전한 설계에 중점을 두고 있었는데, 드리마일島 原子力發電事故 이래 操作上 安全한 설계로 重點을 두고 있다.

그림 56은 맨-머신 시스템에서의 強度上 안전한 설계방법과 操作上 안전한 설계방법을 표시하고 있다.

강도적으로 安全하기 위해서는 적정한 안전율로 설계해야 되며, 製作缺陷을 없애기 위해서는 품질보증체제의 확립이 필요하다. 또한 故障에 의한 사고를 없애기 위해서는 保全이 필요하다.

조작상 안전하기 위해서는 적정한 安全率로 설계해야 되며, 製作缺陷을 없애기 위해서는 품질보증체제의 확립이 필요하다. 그리고 故障에 의한 사고를 없애기 위해서는 保全이 필요하다.

조작상 安全하기 위해서는 인간공학적으로 操作이 용이하도록 설계해야 되며 오퍼레이터의 技能을 백업하기 위해 計裝情報傳達裝置를 완비해야 된다.

또한 오판단을 알려주는 경보장치가 필요하며 誤操作을 방지하기 위해서는 플푸르프 인터록 장치가 필요하다.

또한 豫想하지 못한 사고가 발생하더라도 안전만은 보증되도록 페일-세이프를 하여 두어야

한다. 그래도 人間이 만든 장치, 人間의 행위에는 만일의 잘못이 있으므로 潛在危險性이 있는 곳에서 사람을 멀리 하는 것이 요망된다.

8.3 自動化에서의 人間

최근에 로봇이나 자동화된 장치에 의한 死傷事故가 발생하게 되어 자동화 하는 것이 안전대책상 좋은 일인지의 의문이 발생하고 있다. 여기에 대해서 人間工學의 立場에서 다음과 같이 말하고 있다.

自動化가 아무리 진전되더라도 完全 無人化는 당분간 기대할 수 없다. 故障點檢이나 安全點檢 등은 사람에게 의존하지 않을 수가 없기 때문이다.

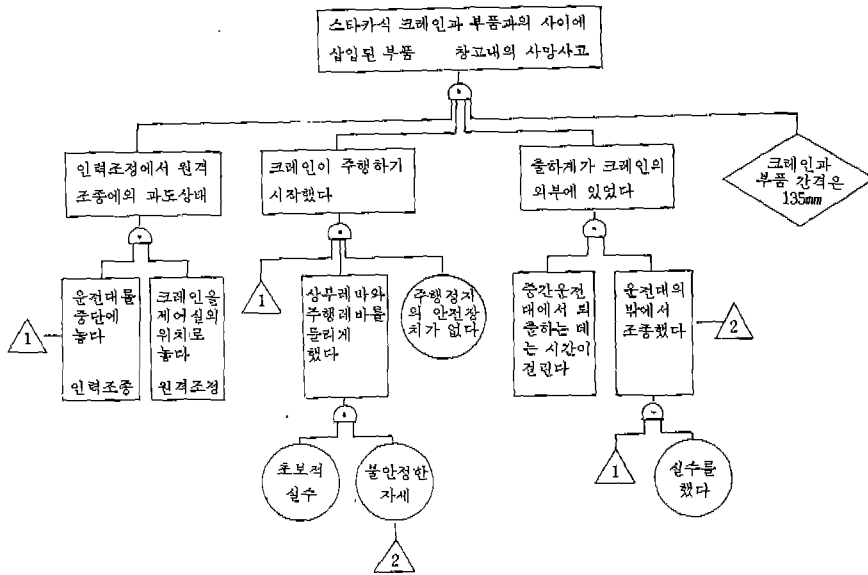
自動化 시스템이 사람에게 의한 보안을 필요로 하고 또한 피할 수 없다면 人間の 弱點을 조장하고 부지런한 인간을 태만한 인간으로 만드는 사용방법은 지양되어야 할 것이다. 人間을 잘 사용한 시스템 설계가 앞으로의 기술자에게 문제가 되며 또한 숨씨를 보일 부분이라고 생각된다.

그림 57은 제품의 部品管理가 컴퓨터化되고 부품의 출입이 로봇화된 원격조종의 스타카크 레인에 의하여 자동화된 창고내에서 발생한 사망사고를 缺陷樹法으로 분석을 한 것이다.

이 事故는 出荷係가 주문전표와 재고품의 잘못을 조정하려고 일시 원격조정의 크레인을 벌려 수동제어에 의하여 정리한 후 크레인을 컨트롤 센터에 반환할 때 발생했다. 운전대에서 조종했다면 事故는 발생하지 않았는데, 정위치로 돌아 온 후에 운전대에서 나오기가 귀찮은 생각에서 운전대 밖에서 크레인으로 지시만 부여하여 크레인 자체의 自動制御에 의하여 정위치로 복귀시키려고 했다.

그런데 지시를 잘못했기 때문에 主人公인 出荷係에게 순종해야 될 크레인에 의하여 壓殺되는 근대적인 殺人事件이 발생한 것이다.

表層的으로는 出荷係가 走行 레버와 승강 레버를 잘못 생각하여 조작했다는 초보적 미스가



〈그림 57〉 원격조정 스타카식 크레인에 의한 부품창고내의 사망사고

원인이라고 판단되지만, 深層的 원인을 탐색하면 自動化 시스템을 계획하는 경우에 다음과 같은 문제점이 있다.

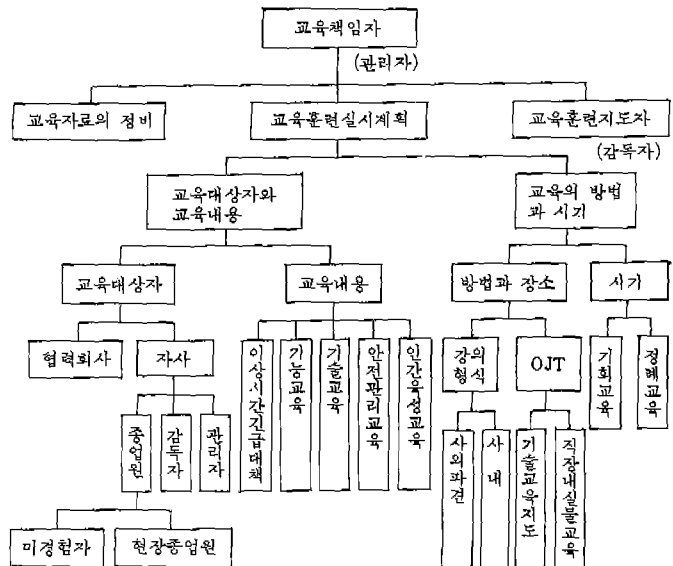
(1) 근대적으로 컴퓨터화된 창고관리에서도 구

태의연한 在庫의 조정이 되고 있는 일이 많다.

(2) 원격조정에 의하여 自動化되고 있는 경우 안전해도 인간이 介在되어 재고조사를 해야되는 경우 이같은 장치는 오히려 危險하다.

〈표 8〉 로봇의 신뢰성
(로봇의 평균 고장간격 (MTBF))

100시간 미만	28.7%
100~ 250시간	12.2
250~ 500시간	19.5
500~1000시간	14.7
1000~1500시간	10.4
1500~2000시간	4.9
2000~2500시간	1.2
2500시간 이상	8.5



〈그림 58〉 안전교육체제

(3) 일렉트로닉스 주체의 관리와 인간주체의 관리가 혼재되는 경우, 또는 그들의 관리가交替되는 과도상태의 안전성에 대해서는 문제점이 많다. 일렉트로닉스 주체의 관리에 의하여 오퍼레이터는 육체적으로 게으른 인간이 되어 있기 때문이다.

(4) 현재의 로봇은 마이크로컴퓨터를 포함한 電氣回路의 고장, 노이즈 등에 의한 暴走 등도 있어 불의의 트러블이 많다. 앙케이트 조사에 의하면 平均故障間隙은 표 8 과 같이 매우 짧고 24시간 운전의 1회는 故障이 발생하고 있으며, 이 事故와는 관계가 없는데 일반적인 自動化 시스템에서는 비정상 작업이 중요한 역할을 수행하고 있다.

8·4 監督者의 基本安全教育

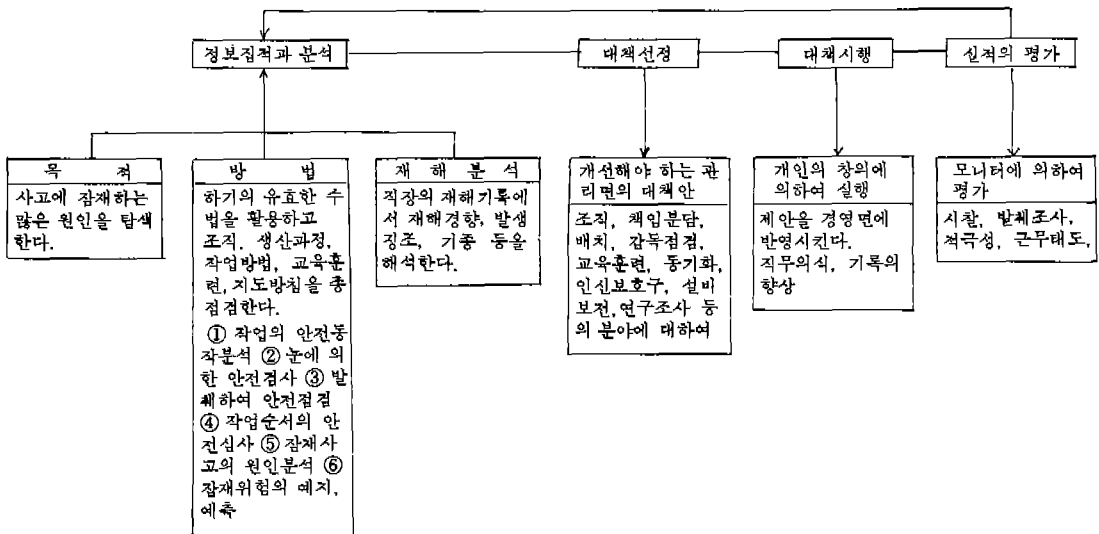
安全의 教育체제를 도표화 하면 그림 58과 같이 되며, 감독자는 실질적으로는 教育훈련계획도 세우고 教育자료의 정비도 해야 된다. 職場에 따라서 教育내용도 教育방법도 시기도 달라 지지만 人間형성 및 安全관리의 면에서는 共通點이 많다. 그림 59는 하인리히의 「산업재해방지

론」에서 인용한 감독자의 임무에 대한 플로차트이다. 여기서는 教育指導에서의 人間特性에 대해서 다음과 같이 말하고 있다.

安全의 教育訓練方法에 대해서 너무 방대한 참고자료가 부여되어 당황한 우수한 청년감독자가 心理學이나 人間工學 등 광범위한 敎材에서의 지식을 총괄 정리한 결과 混亂되어 있는 敎育지도의 방법을 다음과 같은 항목으로 정리하여 自信을 가지게 되었다고 한다.

難解한 이론보다 극히 平凡한 기본이 중요하다는 것을 깨닫게 되고 반성이 된다.

- (1) 사람에게 대해서는 人間的으로 접한다. 기계와 같이 생각해서는 안된다.
- (2) 驅使하거나 強制로 命令해서는 안된다. 유도하도록 한다.
- (4) 사람들이 좋아하고 존경, 충성, 협력, 신뢰하도록 하고 忠勤원이 마음으로부터 복종하도록 한다.
- (4) 不平은 잘 들어준다.
- (5) 移動이 있는 경우에는 事前에 說明한다.
- (6) 命令은 明確하고 또한 상세히 한다.
- (7) 意見이나 提案은 구하도록 한다.



〈그림 59〉 감독자의 작업 플로차트

(8) 計容, 公平, 言行一致, 友情, 親切을 목표로 한다.

(9) 家庭生活, 취미, 여가, 레크레이션, 종업원의 개인적인 문제에 대해서도 人間的으로 관심을 표시한다.

(10) 不快한 때에는 論爭을 피하고 극단적이 되지 않도록 한다.

(11) 他人을 초조하게 하거나 적대시 하지 않도록 自己自身の 성격도 알아둔다.

(12) 종업원에 대해서 사랑됨, 좋아하는 것과 싫어하는 것, 信念, 個性, 學習의 本性 등을 알아둔다.

(13) 自己上司에 대해서는 자기가 상사를 따라갈 수 있도록 앞에서와 같은 것을 알아둔다.

(14) 管理와 作業의 양면에서 자기의 책임을 확실히 한다.

(15) 업무로서의 자기의 職場을 운영한다.

(16) 종업원이 진정 무엇을 가장 要望하고 있는지를 찾아낸다.

(17) 종업원의 態度나 能力을 시험해 본다.

(18) 從業員 개인의 이력서를 보관해 둔다.

(19) 일하는 것에 대해서 團結力과 경쟁심을 가지도록 한다.

(20) 트러블의 徵兆를 발견하는 것을 배운다.

(21) 冷靜을 되찾았을 때에만 상대방의 잘못을 시정하도록 한다.

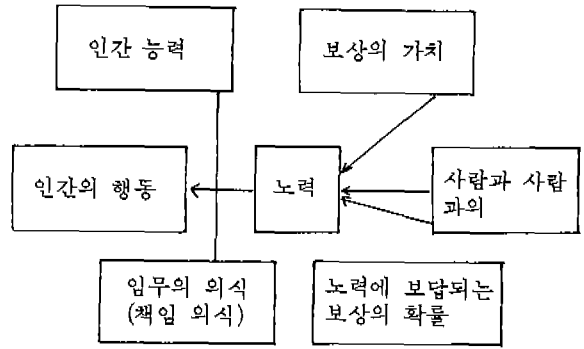
(22) 계획이나 조직을 하기전에 難點을 豫知하여 장애를 제거한다.

(23) 종업원이 生産性을 향상시키는 데 興味를 가지도록 한다.

(24) 健康을 유지하도록 努力하는 동시에 유머를 이해하는 마음을 摺得한다.

그러나 이상과 같이 監督者의 자세를 습득, 정당한 우수한 감독자도 現場에 돌아와 實行段階에 이르면 모두를 實行하기가 어렵다는 것을 알았다는 것이다.

그림 60은 人間の 행동에 영향을 미치는 요인을 圖形化한 것인데, 人間사회에는 사람과 사람의 연결이라고 하는 科學的으로는 表現하기 어



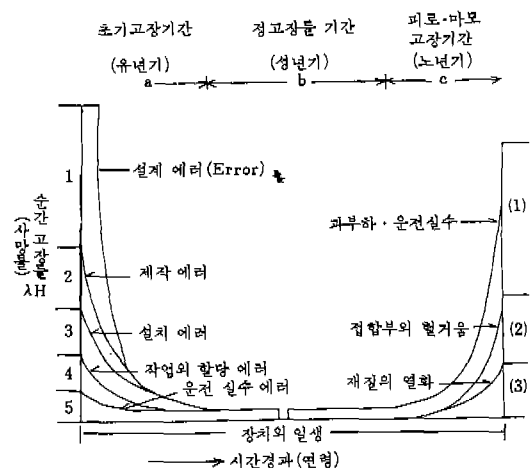
(그림 60) 인간의 행동에 영향을 주는 요인

려운 심리적 요인도 있다는 것을 알고 있어야 한다.

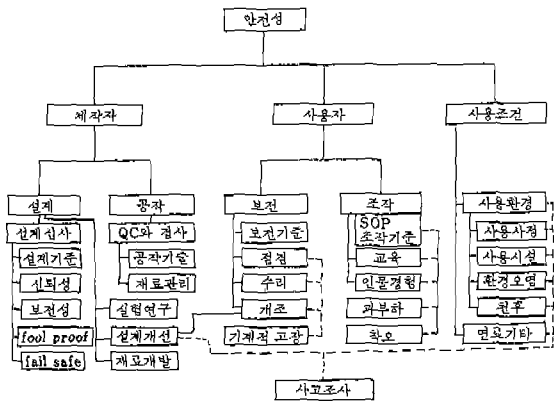
9. 시스템 全体에서의 安全 체크

9.1 設備의 품질보증과 품질유지

裝置에 있어서의 한 생애는 人間の 신체와 마찬가지로 故障率을 베스 터브 曲線으로 표시할 수 있다는 것은 이미 알려져 있는 바와 같다. 영국의 設備保存 전문가는 베스 터브 曲線을 그림 61과 같이 분석하고 있다. 이 그림에서 초기고장을 없애는 것이 설비의 품질보증이며 磨耗고

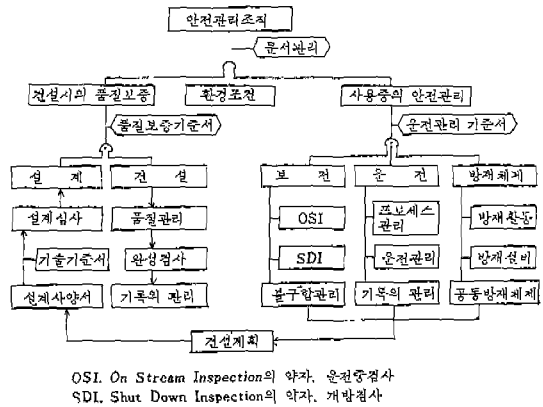


(그림 61) 순간 고장률의 경과도 (베스·터브 곡선)



〈그림 62〉 산업기계의 안전상태를 나타내는 플로차트

장을 없애는 것이 品質維持의 작업이다.
 산업기계에서 災害事故를 없애기 위해서는 그림62와 같이 使用條件이 좋아야 한다는 것과 設計者와 工作部門의 협력이 필요하다는 것이다. 제작자측에서는 設計者와 工作部門과의 協力이 필요하며 使用者측에서는 保全部門과 運轉部門의 협력이 있어야 된다. 즉 시스템 전체가 함께 協力하여 安全에 협력해 나가야 한다.
 미국에서의 品質保證體制란 品質을 보증할 수 있는 관리조직을 만드는 것, 그 管理組織을 문서로 만들어 두는 것, 문서대로 실행하는 것이다. 安全管理에서 文書管理의 방향을 그림으로 표시



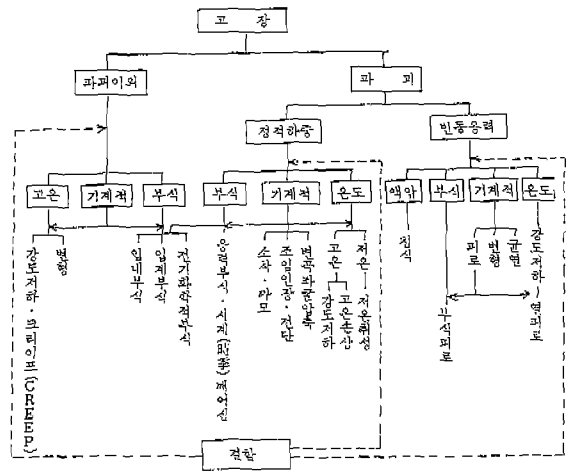
〈그림 63〉 프로세스 산업의 안전관리 조직

하면 그림63과 같이 된다.

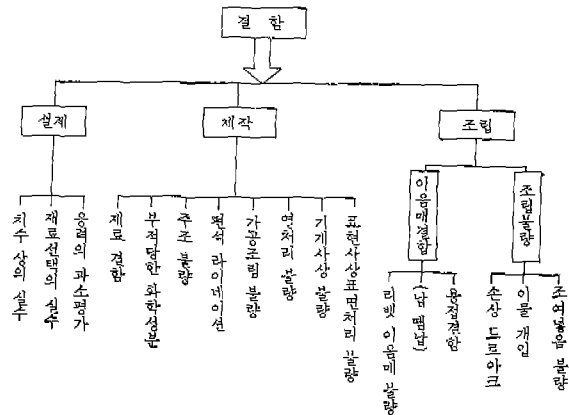
9·2 機械故障의 원인과 그 대책

그림64는 設備診斷의 영국 전문가가 故障의 원 인해석을 한 것이며 고장의 원인이 되는 設計製 作, 組立上の 결함을 분석하면 그림65와 같이 된다.

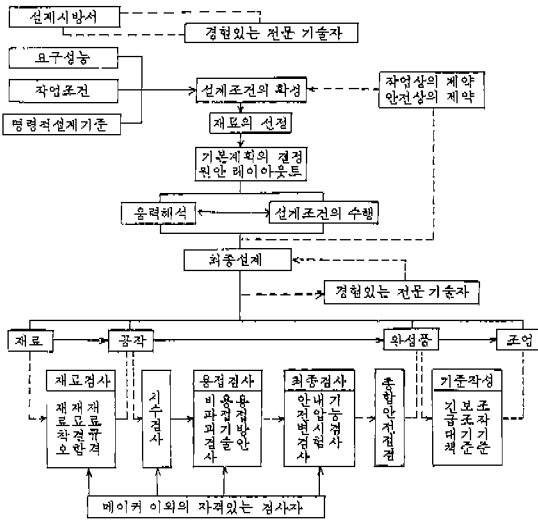
調査의 대상이 프로세스 산업으로 생각되는데 일반 産業機械에서도 다소의 차이는 있지만 故障는 이와 같이 많은 결함의 合成에 의해 발생



〈그림 64〉 고장의 원인분석(George, C. W)



〈그림 65〉 고장의 원인이 되는 설계, 제작, 조립상의 결함(French, C. C. J)



〈그림 66〉 입력용기 설계제작의 플로차트

하고 있다.

장치에는 그 特有의 결함이 있고 결함이 大事故로 연결되며 장치의 經年變化에 의하여 결함이 확대되어 사고로까지 이르게 된다. 따라서 裝置의 設計, 製作에 있어서는 使用環境을 충분히 조사하여 經年 열화에 견디는 실제의 품질보증을 해야 되며, 製作上的 결함을 가급적 적게 하기 위해서는 제작회사 전체의 品質保證체제가 필요하다.

구체적으로 압력용기의 경우, 美國 機械學會에서는 그림66과 같은 플로차트 순서를 권하고 있다.

機械故障의 대부분은 사용하는 현장의 요구와는 다른 性能의 것을 설계했기 때문에, 또는豫想하지 못한 환경에서 사용되었기 때문에發生하고 있다. 따라서 설계하게 되는 경우 設計 示方書가 표시되는데, 그 示方書 중에 사용되는 使用條件이나 環境條件이 모두 포함되고 있는지 여부를 경험이 있는 公認 전문기사에 의하여 감사를 받게 되어 있다. 또한 最終設計가 되고 현장으로 나간 때에 다시 한번 경험이 있는 公認 專門技師에 의하여 최종 설계가 설계시방서를

충분히 충족시키는 것인지 여부를 감사받게 되어 있다.

이같은 순서를 거쳐 만들어진다면 이 도면에 의하여 제작된 제품은 요구성능과 다르다는 크레임이나 예상하지 못한 환경조건 때문에 破損된다는 사고는 없게 된다.

미국에서는 경험이 있는 公認專門技師에게 지급하는 報酬가 상당히 高價인데 故障가 발생한 뒤의 損害額에 비하면 미미한 것으로 생각된다.

設計部에서 設計가 완성된 경우에 이것을 즉시 최종 설계로 하지 않고 安全係 및 工事監理系로 송부하여 安全上 및 作業上的 觀點에서 검토받는 것도 중요한 일이다.

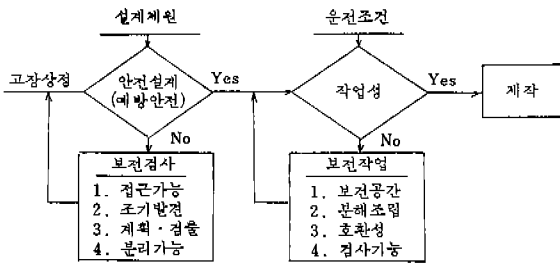
대부분의 회사에서는 검사부문은 製作 部門의 지시명령을 받지 않는 管理組織으로 되어 있다. 이것은 惡意는 없어도 完成期가 촉박하면 인정에 못이겨 적당히 할 염려가 있다는 것과 判定이 검사원의 판단에 맡겨져 있는 非破壞檢査 등이 感情에 左右되기 쉽다는 것을 배려하고 있기 때문이다.

그러나 缺陷의 安定性 判定에는 극히 고도의 專門的인 知識과 經驗이 필요하다는 것, 장치가 대형화되어 만일 破壞가 되면 제 3자에게 피해를 줄 염려가 있다는 것, 人間이란 아무래도 人情에 지배받기가 쉽다는 이유로 경험과 지식이 충분히 인정되는 제 3자의 공인 인스펙터에 의하여 감사를 받지 않으면 美國 機械學會의 合格 스템프는 얻을 수 없다.

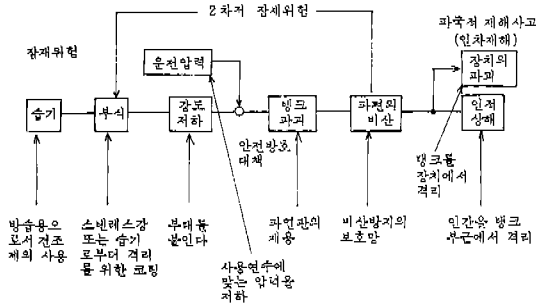
〈設備保全의 기본적인 사고방식〉

○設計段階에서의 設備保全의 사고방식

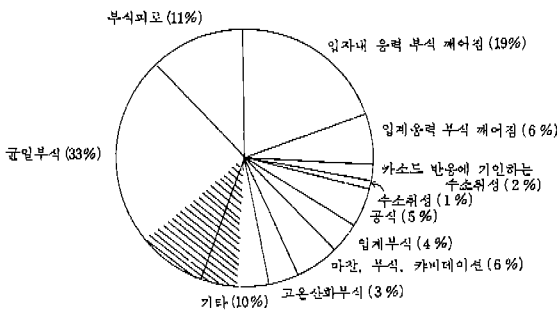
이미 그림 61의 배스터브 曲線에서 설명한 바와 같이 설비상의 결함은 다음의 4 단계에서 人間の 착오에 기인하고 있다. 그 중 保全 및 修理上的 착오의 원인은 거의 製作上에서의 착오의 원인과 공통되며, 그 주요 원인은 설계조건, 환경조건을 충분히 이해하여 적절한 대응을 하지



〈그림 67〉 설계도에 대한 보전면에서의 체크 포인트



〈그림 68〉 압력용기의 파열로부터 인원재산을 보호하는 시퀀스적 고찰



■ 2 가지 이상의 부식현상을 포함하는 것 (17%)

〈그림 69〉 부식과 관련된 사고의 통계

않았기 때문이다.

이같은 保全段階에서의 착오를 없애기 위해서는 設計段階에서 對應을 고려해야 한다.

- (1) 설계상의 착오
- (2) 제작상의 착오

〈표 9〉 부식재해사고의 분류

- A. 부식에 의한 파괴 사고
 - A₁ 정적파괴 (1) 유효면적의 감소에 의한 용기, 배관의 파괴 (2) 나사 접합부의 빠짐
 - A₂ 취성파괴 (1) 결결효과에 의한 충격파괴 (2) 부식취화에 의한 취성파괴
 - A₃ 피로파괴 (1)결결 효과에 의한 피로파괴 (2) 부식 피로 (3) 부식 (Corrosion)
 - A₄ 부식환경에 있어서 파괴강도저하에 의한 Creep 파괴
 - A₅ 부식에 기인하는 초기부정의 증대에 의한 좌굴파괴
- B. 부식에 의한 누설사고
 - B₁ Seal 부분의 부식에 의한 누설
 - B₂ Seal 부분 Scale 에 의한 누설
 - B₃ 부식에 의한 아공, 균열 (A와 중복)
 - B₄ 용기 배관의 부식파괴에 의한 (A와 중복)
- C. 누에 기인하는 재해
 - C₁ 누청에 의한 기능장래 (예, 안전변 나사 결합부)
 - C₂ 마찰제추의 증대에 의한
 - C₃ 누에 기인하는 물리화학적 2차 재해
 - C₄ 작동유체와 구조물과의 이상반응에 의한
 - C₅ 부식 생성물에 의해 발생하는 폐쇄사고
 - C₆ 부식에 의해 발생한 가스 압력에 의한 사고
 - C₇ 부식에 의해 불균형이 되어 발생한 사고

(3) 운전상의 착오

(4) 保全 및 修理上の 착오

원자력 용기에 있어서는 공용 기간중의 검사 기준이 있고 保全檢査가 충분히 실시되도록 設計段階에서 고려해야만 되게 되어 있다. 이같은 관점에서 設計圖에 대한 보전면에서의 체크포인트를 도시하면 그림67과 같이 된다.

특히 腐蝕環境에 대한 배려는 설계단계에서 충분히 검토해 둘 필요가 있다.

이 사고방식을 모델化한 것이 그림 68이며 腐蝕에 의한 재해사고를 유형별로 분류하면 표 9와 같이 된다.

서독 BASF社의 슈펜박사는 부식과 관련된 事故의 統計를 그림 69와 같이 표시하고 있다.

부식에 관한 對像物은 여러가지가 발표되고 있는데 對像物에 따라 현저하게 달라진다. 그림69에서는 부식에 여러 가지의 형태가 있다는 것, 표 9에서는 腐蝕이 原因이 되어 各樣各색의 재해가 발생하고 있다는 것을 알 수 있다.

(다음 호에 계속)