

韓國産業安全公團 産業安全保健研究院

## 6. 信賴性的 기초가 되는 統計

圖表로 표시해 보면 그림45 하단과 같이 된다.  
이같은 통계의 표시방법은 度數分布 또는 頻

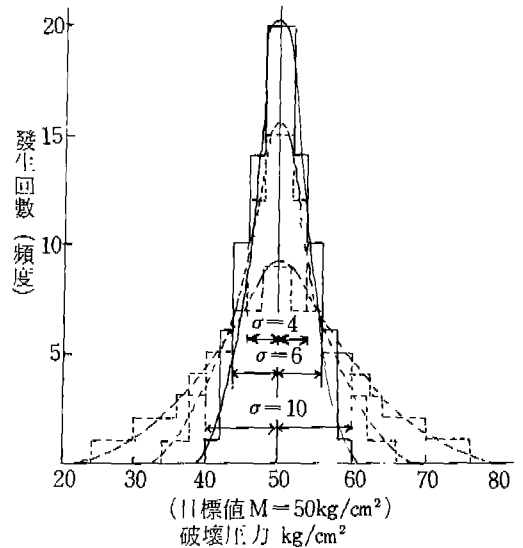
### 6.1 正規分布의 신뢰도

그림 42, 그림43과 같이 目標值의 전후로 對稱的으로 불균일한 분포를 正規分布라고 한다. 분포상황의 頻度를 그대로 표시하면 빈도곡선이 되며 각각의 빈도를 전체 수로 나누어 縱軸에 표시하면 確率密度曲線이 된다.

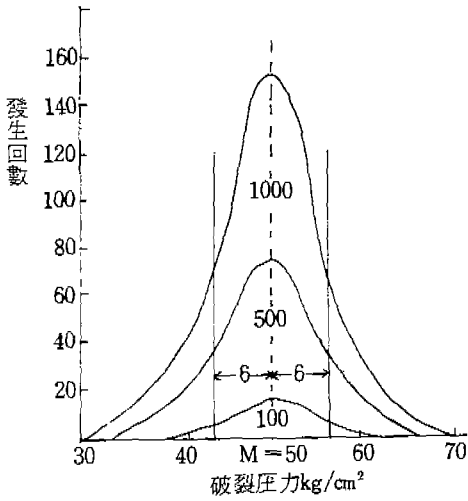
測定值의 全体數가 N개 있고 그 빈도 곡선이 그림 44(A)와 같이 分布되어 있다면 목표값 M에 대하여 가장 작은 값부터 加算해 가서 1에서 N개 까지의 누적도수 분포를 얻을 수 있게 된다.

一般家庭에서 사용하고 있는 50kg 프로판 볼베의 安全 밸브는 24.8kg/cm에 분출이 시작되도록 법령으로 정하고 있는데, 실제로는 어떤 不均一로 실재하고 있는지의 여부를 113개의 安全 밸브에 대해서 조사해 보았다.

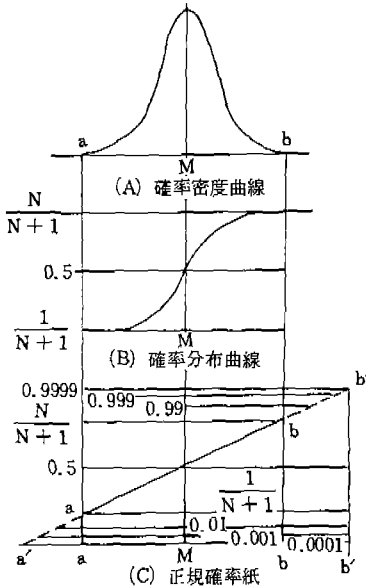
조사결과를 실제로 분출이 시작된 壓力과 그 壓力으로 분출이 시작된 安全 밸브의 수에 대한



<그림 42> 100個의 壓力容器 破壞壓力에 대한 確率密度曲線



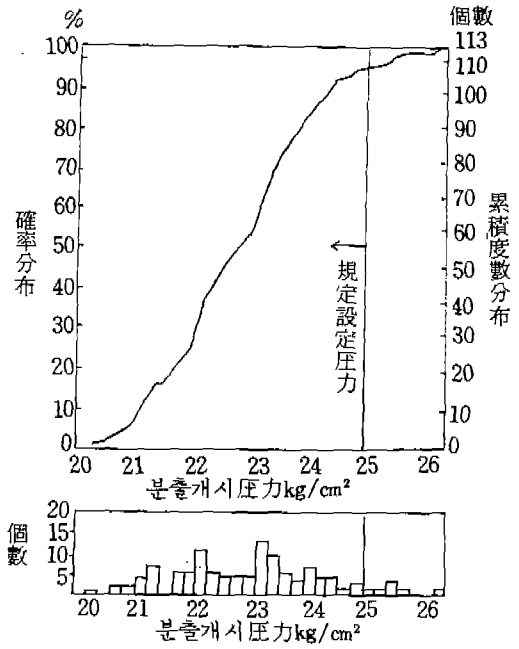
〈그림 43〉 標準偏差  $\sigma = 6 \text{ kg/cm}^2$  의 破裂 壓力確率密度 曲線



〈그림 44〉 正規分布인 경우의 信賴度

度分布라고 하며 영어로는 히스토 그래프라고 한다.

또한 그림 45의 상단과 같이 분출이 시작된 압력을 橫軸으로 잡고, 그 壓力 이하에서 분출이 시작된 安全 밸브의 총 수를 우측 縱軸의 단위로 표시한 것을 累積度數分布라고 하며, 실험한



〈그림 45〉 50kg 프로판 볼베의 安全 밸브

安全 밸브 중 몇 퍼센트가 그 壓力 이하에서 분출이 시작되었는지를 그림 45 상단 좌측의 縱軸 단위로 표시한 것을 확률분포선도라고 한다.

### 6·2 正規確率分布

그림 44의 (A)와 같이 正規密度曲線이 左右對稱으로 分布되어 있는 경우를 正規確率分布線圖라고 한다.

N개의 試驗片에 대해서 실험한 결과 그림 44 (A)와 같이 정규확률분포로 된 경우에 그림 44 (A)의 高段에서 累積된 결과를 그림 44 (B)의 縱軸과 같이 N+1로 나눈 결과를 圖表化한 것이 그림 44 (B)이며 그것을 확률분포곡선이라고 한다.

일반적으로 市販되고 있는 正規確率紙는 그림 44 (B)와 같이 확률분포곡선이 S자 곡선으로 되어 있는 것으로서, 縱軸의 눈금을 적절히 조절하여 그림 44 (c)의 b선과 같이 直線이 되도록 눈금이 되어 있는 것이다.

일반적으로 實驗回數 N의 값은 크지 않으므로

극한값 b에서의 確率은 精밀도가 높은 것은 아니다.

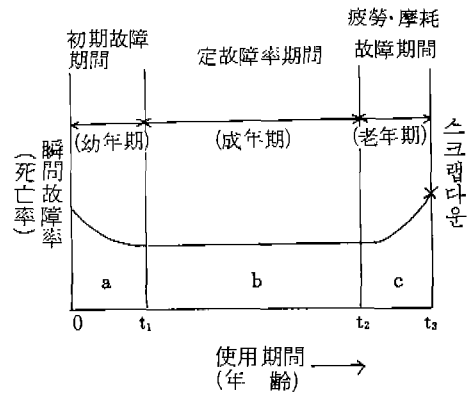
그런데 그림 44 (c)에서는 b선도가 直線으로서, 진후로 용이하게 點線과 같이 연장할 수가 있으며 양 극단에서 임의의 精密度가 높은 極限值 b의 확률이 구해진다.

이같은 방법으로 가령 100개의 실험결과에서 10만개의 시험결과를 추정할 수가 있게 된다.

그림 46은 그림 45에서 설명한 50kg 프로판 봄베의 113개 분출시작 압력의 確率分布를 正規確率紙로 표시한 것이며, 이 安全面은  $24.8\text{kg/cm}^2$  이하에서 作動하여 噴出을 시작해야 되는데 113개의 실험결과에서 5%는 불합격이라는 것. 단,  $28\text{kg/cm}^2$  이상이 아니면 作動하지 않는다는 불안전한 것은 10만개에서 1개 정도이고  $18\text{kg/cm}^2$  이하에서 작동하는 것도 10만개에 1개 정도이며 이 정도의 成積이면 事故와 連結되지는 않을 것으로 判斷된다.

### 6.3 배스 터브 曲線과 와이블 分布

그림 47은 어떤 機械裝置의 사용결과에 따른 瞬間故障率을 표시한 것으로, 使用開始 直後에



〈그림 47〉 瞬間故障率 經過圖(배스·터브 曲線)

는 고장이 많지만 숙련되는 데 따라 故障이 적어지며 고장률이 일정해지는 시기에 도달한다.

그러나 장기간 사용되고 있으면 마모나 피로에 의하여 다시 故障이 증가되고 드디어 最後에는 스크랩 다운된다.

이같은 경과를 표시한 曲線이 西洋式의 목조와 비슷하므로 배스 터브 곡선이라고 한다.

또한 이 곡선은 人間의 死亡率 統計와 類似하다.

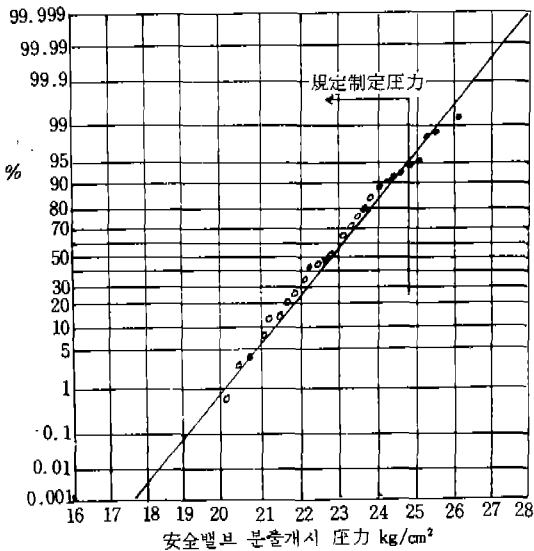
橫軸에 연령을, 縱軸에 그 연령의 死亡率을 표시하면 초기 고장기간은 유년기의 死亡率을, 정 고장률 기간은 成年期의 사망률을, 疲勞, 磨耗 故障期間은 老年期의 死亡率을 표시하고 있다.

일반적으로 고장률의 단위는 年間 고장률이나 月間 고장률을 표시한다.

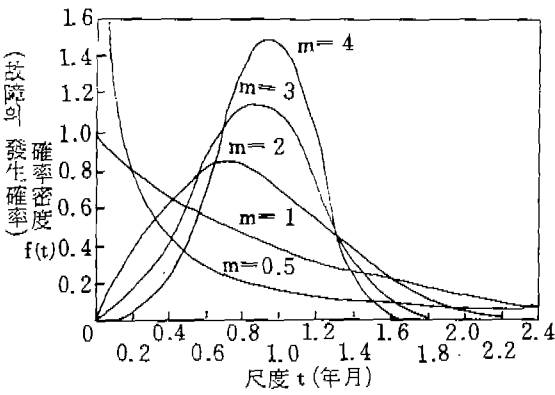
또한 시스템의 信賴性을 평가하는 경우의 각 單位의 信賴性은 正故障率 기간의 故障率을 취하는 경우가 많다.

가령 어떤 部品이 1년간에 3회 고장이 발생했다면 그 部品의 월간 고장률은 0.25건이며 평균 고장간격은 4개월이고, 이것은 MTBF라는 기호로 표시한다.

強度나 壓力과 같이 目標値에 대하여 대칭적으로 불균일이 있는 경우에는 정규확률 분포로 되어 나타나는데, 고장률과 같이 사용 일수에서 달라지는 경우에서 確率密度의 統計를 보면 그



〈그림 46〉 安全 밸브 113개의 분출개시 壓力의 분포곡선



〈그림 48〉 故障의 確率密度曲線

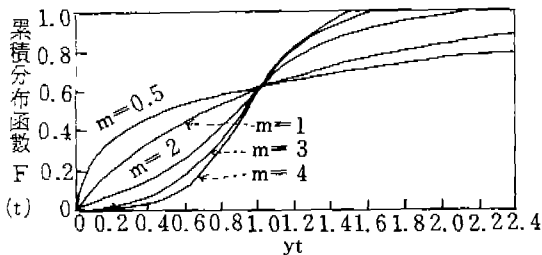
림48과 같이 정규확률분포와 비슷한 분포로 있는 경우가 있으나 전혀 다른 분포로 되는 경우도 있다.

이같은 分布를 와이블 분포라고 하며 그림의 m이라는 퍼라미터에 의하여 分布의 形態를 정리해 갈 수가 있다.

정규확률분포의 경우와 마찬가지로 橫軸은 그대로 두고 累積의 分布(고장의 총수)를 縱軸으로 하면 그림49와 같이 된다.

이와 같은 형태로 표시된 통계를 와이블 확률 값이라 한다.

縱軸을 2중 대수의 눈금의 그래프로 옮기면 正規確率分布의 경우와 마찬가지로 이들 曲線은 직선으로 되어 極限의 사용상태에서의 故障率을 推定할 수 있다.



〈그림 49〉 故障의 累積分布

또한 故障의 確率密度  $f(t)$ 와 누적분포함수  $F(t)$ , 그리고 순간 고장률  $\lambda(t)$  사이에는 그림 50과 같은 관계가 있으며 瞬間故障率이라고 하는 것은 m의 값에 의하여 다음 세가지의 다른 경향으로 되는 것을 알 수 있다.

(1) m이 1보다 작은 경우에 瞬間故障率이 使用期間의 經過와 함께 漸次 減少되는 현상으로 서 속편되는 과정 또는 초기 고장률 기간에서의 고장의 發生狀態를 표시하고 있다.

(2) m이 1과 같은 경우이며 순간고장률이 사용기간의 경과에 관계없이 일정한 현상으로서 偶發事故 과정 또는 定故障率 期間에 있어서 고장의 發生狀態이다.

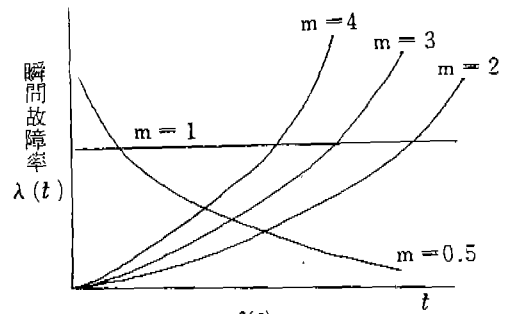
(3) m이 1보다 큰 경우이며 순간 故障率은 사용기간의 경과와 함께 점차 증가되는 現象이며 磨耗·疲勞 과정에서의 고장의 발생상태를 표시하고 있다.

이같은 상태에서의 고장의 發生確率을 구하면 그림 48과 같이 정규 확률분포와 비슷한 傾向으로 된다.

따라서 배스터브 곡선은 m이 1보다 작은 경우, m이 1인 경우, m이 1보다 큰 3개의 와이블 分布函數로 표시할 수 있다.

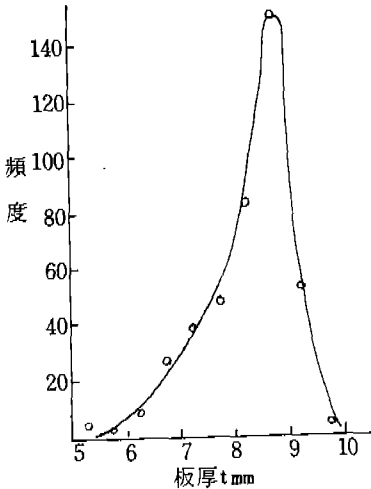
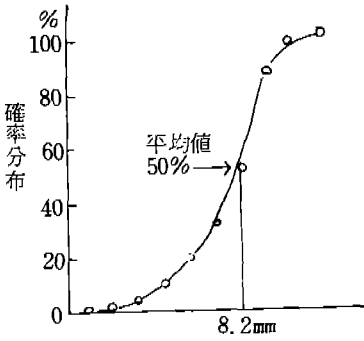
또한 어떤 측정량에 대하여 頻度分布를 구하여 정규분포로 되지 않는 경우에는 와이블 분포로 통계처리 할 수가 있다.

가령 地震이 발생한 경우 3基의 石油 탱크의 저판이 파손되어 큰 문제가 되었다고 하자.



$$\text{註: } \lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

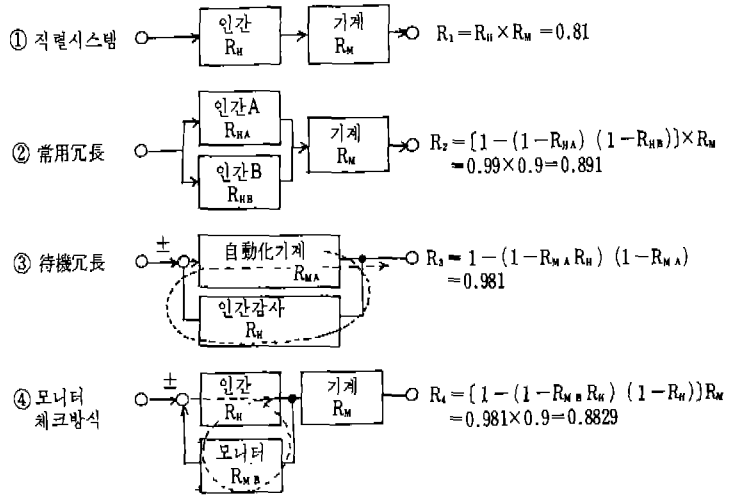
〈그림 50〉 瞬間故障率



〈그림 51〉 腐蝕에 의한 板의 두께 減少상황

破損의 原因을 調査하기 爲해 腐蝕에 의한 上황을 超音波에 依하여 測定했으며, 판 두께의 빈도곡선과 확률분포 곡선이 그림51과 같이 구해졌다.

超音波 測定計에 의한 測定點은 440점인데, 확



註:  $R_H, R_{HA}, R_{HB}$ 은 인간의 신뢰성,  $R_M, R_{MA}, R_{MB}$ 는 장치의 신뢰성 수치는 각각 신뢰성을 0.9로 가정한 값

〈그림 52〉 인간-기계 시스템의 신뢰성

률분포를 와이블 확률지에 옮기면 平均 板 두께는 8.2mm이며 10만분의 1의 확률로 나타나는 판 두께는 4.4mm라는 것을 알 수 있고 4.4mm 이하로 腐蝕되는 일은 없을 것으로 추정되었다.

#### 6.4 人間-機械 시스템의 信賴性

人間の 신뢰성은 機械의 신뢰성에 비하여 표 5와 같이 어떤 경우에는 優秀하고 어떤 경우에는 떨어진다.

인간이 기계를 操從하는 시스템을 맨-머신 시스템이라고 總稱하고 있는데, 그 典型的인 구성방법을 그림52에 들었다.

①은 直列 시스템이라 하고 시스템의 신뢰성

〈표 5〉 意識 레벨의 단계분류

Phase	의식의 상태	주의의 작용	생리 상태	신뢰성
0	무신경, 실신	0	수면, 뇌발작	0
I	이상, 의식불명	부주의	피로, 단조로움, 졸음, 주취	0.9이하
II	정상	수동적, 심적内向	안정기거, 휴식, 정상작업시	0.99~0.9999
III	정상, 명쾌	적극적, 심적外向	적극적 활동시	0.999999이상
IV	과긴장	일점에 고집	감정 흥분(공포상태)	0.9이하

은 그림과 같이 各要因의 信賴性的의 積으로 표시 된다.

따라서 各 要因의 信賴성을 0.9라고 가정하면 시스템의 신뢰성이 0.81이 된다.

②는 人間の 신뢰성을 높이기 위해 2명의 오퍼레이터에게 操作을 시킨 경우이며 이것은 商用 冗長方式이라고 한다. 인간은 感情의 동물이므로 때와 경우에 따라서 信賴성이 현저하게 달라지는 것이다.

②와 같이 人間을 並列로 작업시켜도 2명의 의존성을 가지면 2명의 신뢰성은 모두 저하될 危險性이 있으므로 기계와 같이는 되지 않는데 가령 AB 모두가 그 신뢰성을 0.9라고 가정하면 並列 冗長의 신뢰성은 0.99로 되며 맨-머신 시스템의 신뢰성은 0.891이 된다.

③은 機械를 모두 自動化해 놓고 人間은 자동화 시스템이 誤差가 생겼을 때만 修正한다는 이른바 待機 冗長方式을 채용하고 있는 예이다.

待機中 要因의 信賴性, 故障檢出의 신뢰성 등 일률적으로 말할 수는 없는데 이 경우에도 각 요인의 신뢰성이 0.9이며 ③의 破線과 같이 정보가 흐르는 것으로 가정하면 이 시스템의 신뢰성은 0.981이 된다.

④는 ②에서의 人間 1명을 모니터로 대체한 경우이며 인간과 모니터와의 관계를 ③과 마찬가지로 생각하면 이 시스템의 信賴성은 0.8829가 된다.

여하간에 맨-머신 시스템의 信賴性에는 인간의 신뢰성이 크게 影響을 미친다.

가령 어떤 工場에서 중요한 밸브의 조작에 더블 체크의 目的으로 2명 立會下에 실시하도록 했는데 선임자의 誤操作을 후임 오퍼레이터가 注意를 시킬 수가 없어 중대한 事故를 誘發했다 하자.

여기서 2명을 사용하지 않고 1명이 더블 체크하는 방법이 연구되고 있는데, 그 하나가 ④의 모니터에 의한 체크 방식이며 더욱 簡單한 방식이 철도에서 실행되고 있는 손가락으로 가리키는 호칭방식이다.

손가락으로 가리키고 눈으로 확인하는 것과 목소리로 말을 하여 귀로 확인하는 방식으로서 信賴性工學에서 볼 때 권장할만 하다고 하겠다.

## 7. 人間要因에서의 접근

### 7.1 人間科學에서의 접근

人間은 과실을 범하는 動物이라고 하며, 正常狀態에서도 정상적인 인간이 때로는 과오를 범한다.

같은 人間이라는 不安全한 상태인 때, 몸의 상태가 나쁜 때, 할 마음을 상실했을 때에는 실수가 더욱 많아진다.

失手が 아니라도 人間에게는 심리학적으로 부득이한 이유에 의하여 착각현상으로 잘못된 判斷을 내리는 수가 있는 것이다. 이와 같이 천차만별의 에러가 行動에 나타나는 것이 人間の 特性이다.

人間の 意識狀態를 表5와 같이 5단계로 분류하는데, 그때의 의식상태에 따라 인간 행동의 信賴性에 매우 隔差가 있는 것을 나타내고 있다.

더구나 페이지즈 III에 상당하는 머리가 깨끗한 狀態는 개인차도 있지만 그리 오래 계속되지 않는다는 것은 누구나가 경험하는 바이다.

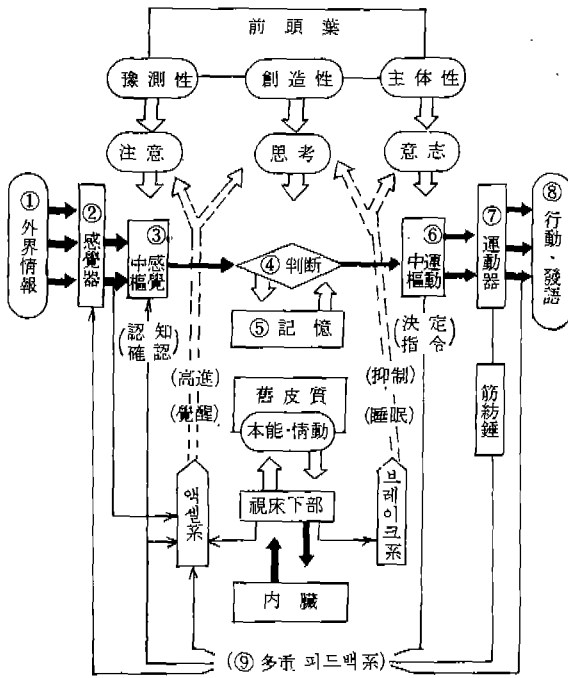
그림 53에 의하여 大腦 生理學에서도 해명되고 있다.

즉, 注意力, 思考力, 決斷力을 담당하는 곳은 大腦中の 前頭葉인데, 전투업은 피로하기 쉽고 단시간밖에 만족한 기능을 발휘할 수 없으며, 內臟 등의 제기관의 상태에 따라서는 活性化되는 수도 있지만 브레이크가 가해질 경우도 있다는 것이다.

또한 記憶이 부족하거나 잘못되어도 오관의 원인이 된다.

人間科學의인 立場에서 誤操作, 誤判斷을 없애기 위해서는 중요한 판단은 페이지즈 III의 상태에서 處理해야 된다.

페이지즈 III의 상태를 유지하기 위해서는 心身



〈그림 53〉 새로운 腦의 情報處理 모델

〈표 6〉 化學工場에 있어서의 災害 事故의 原因推移

原因別	69년	73년	81년
誤操作	22%	45%	53%
裝置의 缺陷	50%	21%	35%
劣化	22%	21%	10%
기타	6%	13%	2%

집약, 정리한 것으로, 다음과 같이 해석하고 있다.

(1) 團結力, 競争心에 의한 安全意欲

意欲을 고취시키고 의욕의 저하를 방지하기 위해 全員參加를 호소할 필요가 있다. 툴 박스 미팅 등은 전원 참가를 호소하기에 效果的인 장소이다.

(2) 미스 豫知, 豫測活動

KYT(위험, 예지, 훈련의 약자) 運動이라든지 허어리하트 運動은 현재 널리 보급되고 있는 安全活動이다. 이들은 재해상정에 의거한 리스크 어세스먼트로서 人間工學의 면에서는 問題意識의 高揚, 注意力 喚起에 效果를 올리고 있다.

(3) 멀티플 체크

통상인이 범하는 偶發的 過誤를 방지하기 위해 產業界 전 분야에서 열심히 노력하고 있는 誤操作 防止對策이다.

모니터에 의한 오조작 감시, 경보장치, 複數의 人間에 의한 더블 체크, 철도 등에서 볼 수 있는 손가락 呼稱方式 등은 典型的인 멀티플 체크 방식이다.

모 석유화학 회사에서는 휴대용무전기를 오퍼레이터에 휴대시켜 조작할 때마다 큰 소리로 호칭시켜 그 호칭을 들은 관계자 全員이 체크한다는 것이다. 매너리즘에 빠지는 것을 타파하는 異色的인 방법이다.

이 건전해야 된다.

그래도 腦의 疲勞는 피할 수 없으므로 페이지 II의 상태에서 처리할 수 있도록 해 줘야 된다.

7.2 人間 에러의 분석

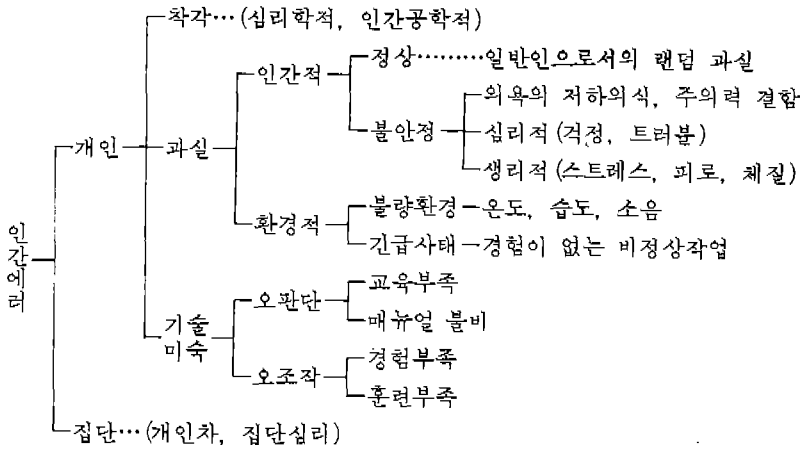
표 6은 화학공장에서 災害事故의 원인을 分析한 結果이다.

1981년의 調査는 1976년부터 1981년까지 매년 1개소씩 컴비너트에서의 그때까지의 發生事故를 調査한 結果의 총계이다.

災害事故 件數의 總計는 1973년을 피크로 하여 감소되고 있는데도 불구하고 오조작에 의한 事故는 별로 감소되지 않고 있으므로 誤操作이 차지하는 事故比率이 점차 높아지고 있다.

그림 54는 현장의 베테런 安全管理者가 人間 에러의 發生要因에 대해서 分析한 여러 편의 논문이 있어 그 發生要因을 類形分析한 것이다.

표 7은 이들 人間 에러 防止를 위한 대책을



〈그림 54〉 人間 에러-發生源의 분류

〈표 7〉 人間 에러 防止對策의 분류

1. 단결력, 경쟁심에 의한 안전의식(전원참가, 소집단 활동)
2. 미스 豫知·예측활동(위험예지, 위험예측, 미스 오퍼레이션 예지훈련)
3. 멀티플 체크(指差호칭, 휴대무선기, 체크리스트)
4. 연락미스 방지(작업표준, 책임분담의 명확화, 휴대무선기)
5. 기술교육(신입사원 교육, OJT, 교육훈련 센터)
6. 긴급시 대책(긴급시 조작 매뉴얼, 교육훈련 센터, 상식교육)
7. 錯覺防止(표지, 착오에 대한 연구와 지식보급)

#### (4) 連絡 미스 방지

組織이 크게 확장되어 온 工場에 특히 발생하는 시스템 에러에 의거한 사고대책이다. 미국식으로 組織에 의하여 책임분담을 명확히 하여 文 書管理를 엄격히 하는 것은 오소독스한 관리인데, 휴대 무선기에 의하여 자기의 行動을 널리 전하여 全社적으로 協力, 助言을 얻는 방식도 있어 연락 미스를 방지할 수 있다.

#### (5) 緊急時對策

自動化가 진전되고 있는 裝置工業에서 事故가 발생하여 자동제어 시스템이 이상해졌을 때의 緊急對策에 대해서는 各社가 모두 중대한 문제

로서 取扱, 긴급시에 操作 매뉴얼을 정비하고 교육훈련 센터에서의 시뮬레이터에 의한 훈련 등도 하고 있는데, 事故發生의 현장에서 실제로 有用한 것은 基本常識과 냉정한 판단이다. 이것에 대해서는 드리마일島 원전사고는 좋은 教訓을 주고 있다.

田邦男의 「공포의 2시간 18분」이라는 著書에서는 특히 긴급시 당직 運轉員의 행동이 자세히 설명되고 있어 참고가 된다.

중대사고의 발단은 主給水 펌프가 不良해서 自動적으로 補助給水 펌프가 起動했을 때 열려 있어야 될 증기발생기 밸브가 「폐」로 되어 있다는 것을 8분이나 알지 못하고 있었다는 것이다.

(다음 號 계속)