

韓國産業安全公團 産業安全保健研究院

#### 4. 安全管理에 의한 全損失防止

지금부터 20년전 서독의 콘페스는 勞動災害의 경제계산이라고 하는 책을 내어 노동재해가 발생하면 그림 25와 같이 사고에 소요되는 直接費用, 間接費用뿐만 아니라 기업의 활동능력이喪失되는 損失도 있다는 것을 경고하였다.

미국의 버드라는 保險學者는 그림 26과 같이 氷山에 비유하여 傷害事故에 소요되는 醫療費와 補償費가 1달러라면 그 상해사고에 의하여 발생한 시설이나 기계의 파손에 의한 손해, 제품이나 원료의 손해, 생산의 지체 및 사고처리에 요하는 비용 등을 계산하면 5달러가 된다고 하였다.

또한 표면에 나타난 의료비나 보상비는 보험으로 커버되지만 표면에 나타나지 않는 간접비용은 보험으로 補充되지 않는 企業의 손실이라고 하였다.

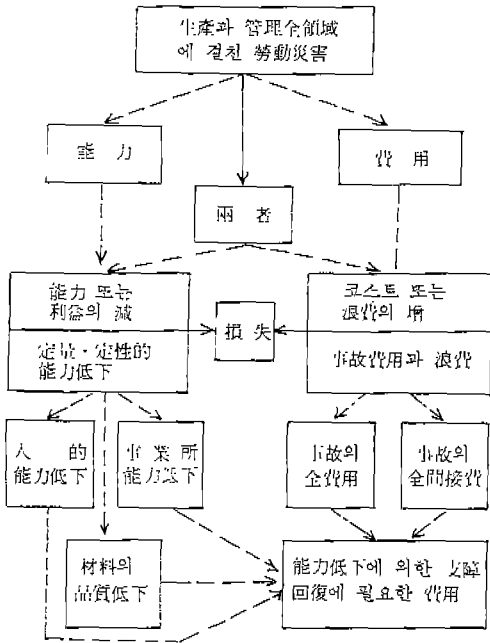
#### 4.1 하인리히의 理論

하인리히氏가 50년전에 1대 29대 300의 안전관리의 원칙을 그림 27과 같이 발표한 이래로 세계의 안전관리는 이 원칙에 따르고 있다고 해도 과언이 아니다.

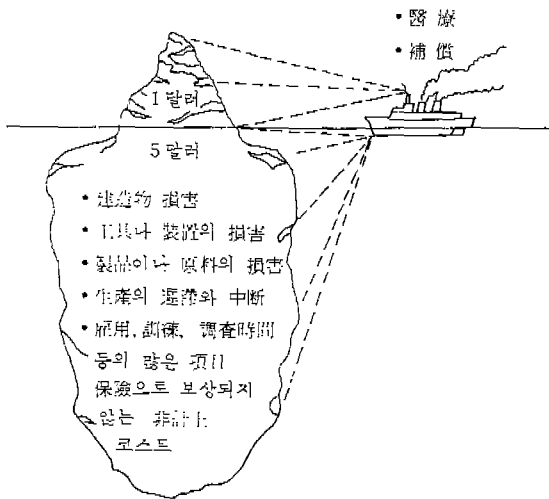
하인리히氏는 10년전에 기술혁신의 試練에서도 이러한 안전관리의 원칙이 계속 지켜진 것은 안전관리의 원칙이 정확하였다는 증명이라고 하였다.

1대 29대 300의 수치에 관해서는 그후 세계의 世論을 불러 일으켰고 가령 버드氏는 그림 28과 같은 재해비율의 연구를 발표하였는데 重大災害를 防止하기 위하여는 많은 潛在要因을 제거해야 된다는 하인리히의 思想을 否定한 것은 아니었다.

그러나 서독의 콘페스氏는 상해사고와 손해사고와의 관계를, 상해사고에 대해서는 하인리히의 1대 29대 300의 이론과 동일하고 損害事故



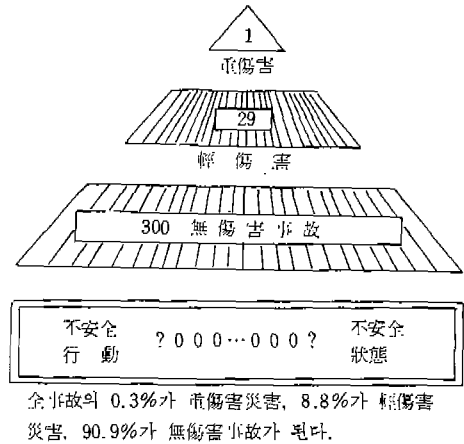
〈그림 25〉 勞動災害가 企業에 주는 損害



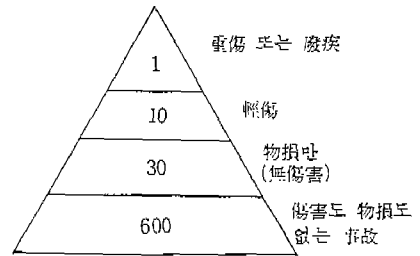
〈그림 26〉 버드氏의 氷山

에 대해서는 하인리히에도 버드에게도 없는 특수한 점을 지적하였다.

즉, 1명의 傷害事故도 없는데도 불구하고 540



〈그림 27〉 하인리히에 의한 重傷災害의 構成



〈그림 28〉 버드의 災害比率

억엔의 손해가 발생한 日本 미스시마의 重油大畧流出事故 발생을 豫告하였던 것이다.

全損失防止의 立場에서 보면 機械裝置의 不良, 故障의 豫防도 해야되므로 安全管理者는 종전보다 機械的인 面에 깊이 關心하여야 하는데, 英國의 安全工學者인 Lee氏는 종전보다는 기술面을 重視한 安全管理가 損失防止學이라고 하였다.

#### 4-2 事故内容에 의한 原因解析法

災害事故가 發生하였을 때 실시되는 原因 해석은 유사한 事故의 再發防止를 목적으로 한 것으로서, 대책을 세우는 경우나, 법률적으로 違反行爲가 있었는지의 如否를 究明하기 위해 실시되는 등 재해조사를 행하는 사람의 立場에 따라서

目的이 다르며, 原因解析의 結果를 정리하는 段階에서는 表層的으로 전혀 다른 것 같은 印象을 받는다.

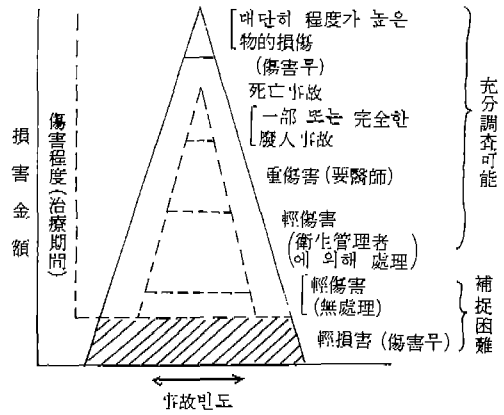
그러나 어느 경우에도 사고발생의 經過를 명백히 하여 原因 진상을 확인해야 하며 原因 해석의 방법이나 순서에 相違가 있는 것은 아니다.

災害事故中에는 勞動災害事故, 航空機事故, 化學 플랜트에 있어서의 爆發災害事故 등이 있으며 原因해석방법은 千差萬別인 것 같이 보이나 基本은 같으며, 시스템 工學的으로 災害要因을 分析하고 要因別로 結果를 종합하여 시스템 전체에서 原因을 얻는 것이 共通的이다.

#### 4.2.1 勞動災害事故의 原因해석

安全管理者의 중요한 임무의 하나는 재해정보를 수집하고 이들 情報에 대하여 재해분석을 하고 그 結果에서 재해방지에 필요한 대책을 발견함으로써 대책을 확실히 실행하는 것이다.

그림 30은 하인리히의 산업재해 방지론에 있는 原因해석의 방법과 안전관리업무를 알기 쉽도



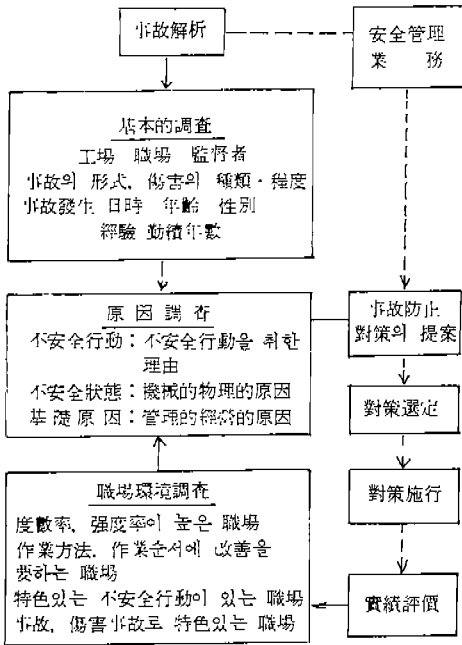
〈그림 29〉 災害事故의 크기와 그 頻度의 關係

록 블록線圖로서 정리한 것이다.

일본에서는 표 3과 같이 災害狀況을 人的, 物的 兩面에서 調査하는 동시에 技術的, 教育的, 管理的 立場에서도 原因분석을 하게 되어 있는데, 그림 30에서는 기본적인 조사 이외에 직장 의 환경조사에서도 피드백하여 深層原因을 求하

〈표 3〉 災害事故의 原因解析과 對策

災 害 狀 況		物 的		災 害 原 因		對 策 (4M)	
人 的	事 故 類 別	現 象	類 型	直接原因	間接原因 (3E)		
傷 害	身體部位	1. 火 災	1. 機械的	不安全行動 (人的原因)	技術的缺陷 Engineering (設計·材料) (保全·檢査)	Man 人間關係	
	2. 墜落·轉落 飛來·落下	2. 爆 發	2. 電氣的				
	3. 轉 倒 질 단	3. 中 毒	3. 化學的			教育的缺陷 Education (知識·經驗) (健康·錯覺)	Machine 物的條件
種 類 (傷害 病名)	4. 崩塌·倒壞	4. 破裂破壞	3. 熱 的				
	5. 激 突 火 傷 感 電	5. 衝 突	4. 放射線	不安全狀態 (物的原因)	管理的缺陷 Enforcement (組織·制度) (基準·理念)	Media 맨과 머신의 媒体	
程 度	6. 交通事故	6. 汚 染	5. 天 災			Management 管理法規	
[ 死亡 永久傷害 休業 不休 ]	7. 天 災	7. 感 電	6. 기 타				
	8. 기 타	8. 기 타					



〈그림 30〉 勞動災害의 原因解析方法과 安全管理業務

는 것이 示唆되고 있다.

일반적으로 재해사고에 대하여 통계로부터 대책을 구하는 경우에는 그 분류방법이 문제인데, 표 3은 종전부터 실시되고 있는 분류방법을 災害狀況, 災害原因 및 對策面에서 分析한 것이다.

間接原因의 3E는 오래전부터 採用되었던 分類方法이나 최근에는 作業順序, 整理整頓, 作業時間 등 人間-機械의 媒体가 重視되어 4M이라는 사고방식이 對策으로 導入되었다.

#### 4·2·2 裝置工業에서의 原因解析

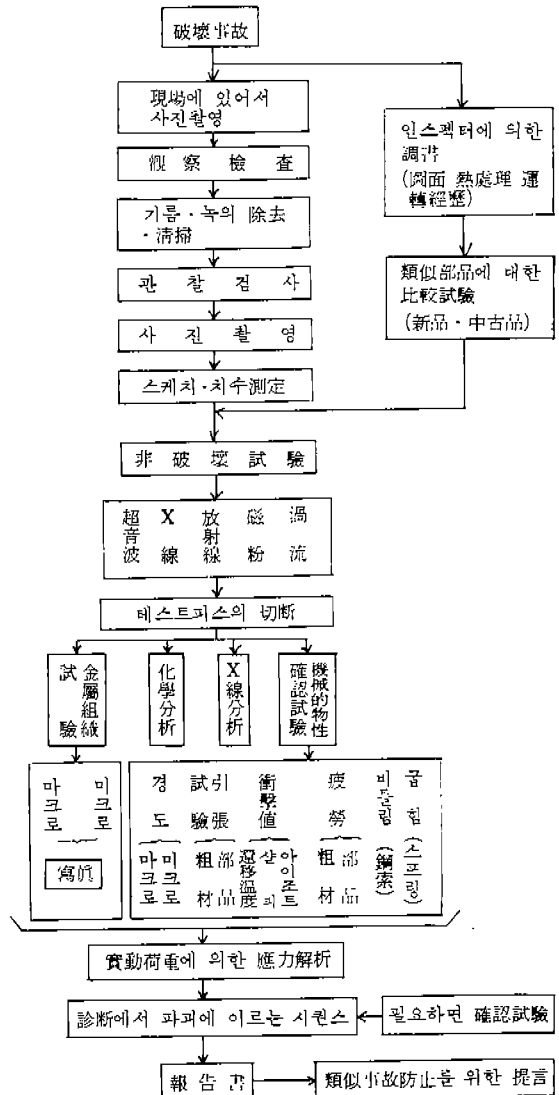
그림 31은 英國에 있어서의 裝置工業 파괴사고에 대한 일반적인 原因해석법으로 公表되어 있는 順序를 흐름도로 나타낸 것이다.

그림 32는 일반적인 파괴사고 原因해석의 순서로서 公表된 모델인데, 그림 31과 거의 같다. 모두가 現場調査, 實驗室調査 및 應力解析의 結果를 總合하였고, 原因은 推定되고 있는 것을 나타내

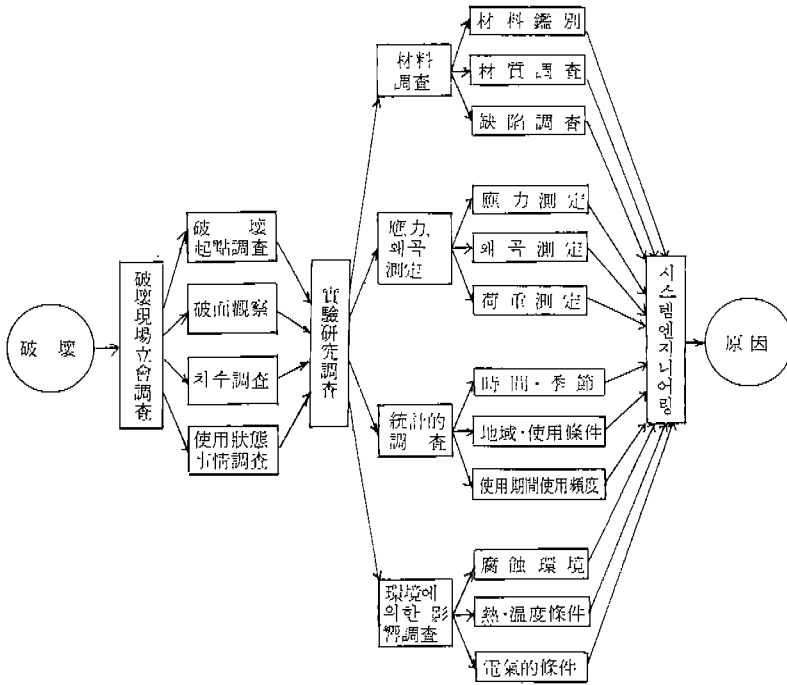
고 있다.

#### 4·2·3 航空機事故의 原因解析

항공기사고 분석에 대해서는 국제적으로 상세한 메뉴얼이 간행되어 있으며, 분석방법은 항공기사고 이외의 一般 事故解析의 경우에도 참고로 되고 있다. 그림 33은 많은 內容에서 事故解析의 순서 骨子만을 플로우차트로서 표시한 것으로, 人間-機械 시스템에서의 災害事故에 대해



〈그림 31〉 破壞事故原因解析의 시퀀스



〈그림 32〉 破壞事故調查의 플로우차트

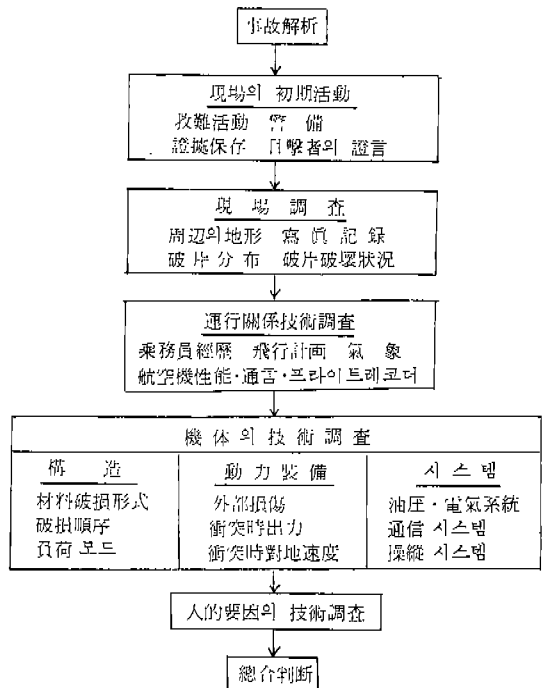
서도 活用할 수 있다.

#### 4.3 最高的 材料를 提供하는 事故現場

人的災害가 발생한 경우에는 경찰, 그리고 火災가 발생한 경우에는 消防署와 감독관청 및 사고발생 事業者와 協調를 얻을 수 있도록 조치를 취하지 않으면 円滑한 原因解析을 할 수 없다.

現場調查에서는 다음 사항에 유의하여야 한다.

- (1) 현장이 변하기 전에 가급적 빨리 간다.
- (2) 破壞現場을 大局的으로 파악한다. 被害의 크기, 被害의 정도, 피해의 범위와 中心을 展望하며 가능하다면 높은 곳에서 그 狀況을 寫眞撮影한다.
- (3) 殘骸 및 모든 破片의 위치를 변경시키기 전에 사진 촬영과 스케치 및 측정 등으로 기록한다.
- (4) 現場에 있었던 物品의 目錄을 作成한다.
- (5) 制御系 등의 操作部門이 事故當時에 作動狀態였는지의 여부를 확인한다. 壓力容器, 配管



〈그림 33〉 航空機事故의 原因解析

의 破裂事故의 경우에는 事故當時의 壓力, 溫度, 流量 등을 확인한다. 될 수 있는 한 콘트롤 룸의 記錄紙를 참고자료로 하여 보관하는 동시에 關係者로부터 當時의 運轉狀況을 듣는다.

(6) 현장에서의 目擊者로부터 事情을 듣는다. 단, 다음 사항에 留意한다.

事故直後の 證言일수록 신빙성이 있는데 목격자의 證言을 過信하지 않으며 폭발, 화재 등이 있으면 그 印象이 強하고 그 前後는 소홀하기 쉽다. 특히 婦人과 어린이에게 傾向이 강하며 惡意없는 트릭이 있다.

#### 4·3·1 破壞事故의 調査要領

대부분의 파괴는 龜裂의 發生과 균열의 安定成長 및 最終인 不安定(急速) 파괴의 순서를 거쳐서 일어난다.

한편, 균열의 발생위치, 균열의 성장방향 및 금속파괴의 영역은 破而上의 各種 模樣에 의해서 알 수 있다.

1980년 일본의 도쿠야마製油所에서 定期開放 檢査後 運轉再開에 대비하여 상온에서 商用壓力의 窒素로 氣密試驗을 行할 때 直徑 2.3m, 높이 8.5m의 反應塔이 大小 44個의 破片으로 破裂되어 큰 社會問題가 된 일이 있다.

이 반응탑은 1963년에 제작된 것으로서, 반응탑 제작시에 간과되었던 용접결함으로 약 17년간 운전하던 均열이 성장하여 상온, 上압의 氣密檢査에서 破裂되었던 것이다.

#### 4·3·2 複數原因에 의한 事故의 解析方法

리프팅 荷重 127톤, 지브의 길이 36.9m, 작업반경 9.65m, 定格荷重 38.8톤의 트럭 크레인에서 重量 35.4톤의 鋼管 말뚝이 27度로 傾斜되어 있는 리더 위를 이동하려고 하였을 때 倒壞되어 死亡災害가 發生한 일이 있다.

강관말뚝은 약 27도의 경사로 조정되어 있었는데, 리더와의 위치가 약간 어긋났기 때문에 荷役時 하중이 잘못 가해진 것으로 생각된다.

도괴된 크레인을 조사한 결과 메인 파이프와

라치스 파이프의 용접이 불완전하였고 이와 같은 종류의 크레인에 固有의 初期不整에 의하여 약간의 偏荷重이 가해지게 된 것이다.

이 사고의 재해발생 요인은 모두가 제작자측과 사용자측에 과실이 있었고 양쪽이 합쳐져 재해사고로 유도된 것이다.

#### 4·3·3 大事故는 넓은 視野에서 檢討를

큰 파괴사고는 여러가지 최악사태가 발생하는 경우가 많다. 그림 34는 破壞事故의 원인을 시스템 공학적으로 고찰한 그림이다.

구조물이 파괴되는 경우에는 이것을 구성하고 있는 재료가 延性破壞, 脆性破壞와 크리프 파괴, 疲勞破壞, 腐蝕 등의 현상에 의하여 파괴되는데, 이와 같은 파괴의 원인으로서는 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

(1) 사용재료에는 大小多少의 결함이 存在했을 것이라는 것, 또한 破壞強度에는 상당히 큰 변동이 존재하고 있을 것이라는 것, 재료는 각각 특유의 脆性을 갖고 있으며 재료에 기대하고 있던 強度가 환경에 따라서 현저하게 변화하는 등 이들의 정도에 따라서 파괴사고로 발전하게 된다.

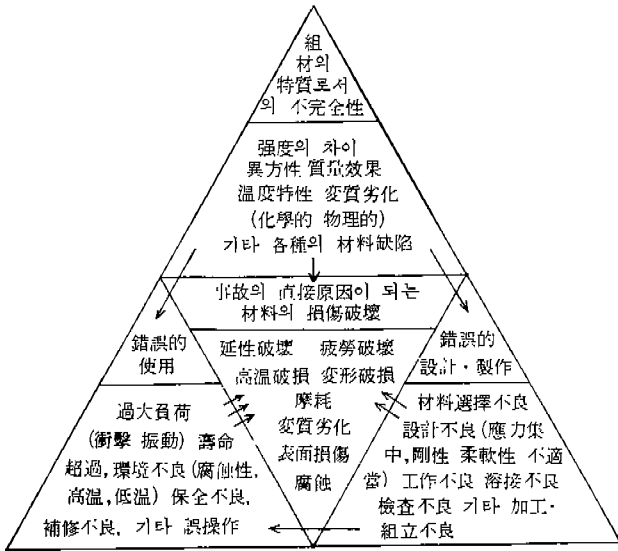
(2) 이상 설명한 材料特有의 理想的 材料와의 相違性을 충분히 이해하여 실제 제작되었는가의 상황에 따라서 損害事故의 發生狀況이 달라진다.

(3) 사용자측의 사용조건 및 보수관리상에 錯誤가 있었는지의 여부에 의해서도 파괴사고의 발생상황이 달라진다.

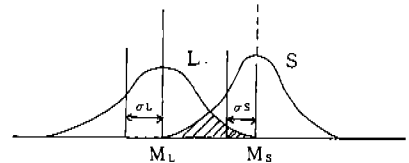
일반적으로 파괴사고의 원인은 매우 복잡하여 원인조사시에는 사용자측의 독자적인 판단에만 의존하지 말고 제작 및 재료전문가의 의견을 충분히 도입하여 넓은 視野에서 시스템 공학적으로 검토해야 할 것이다.

## 5. 高信賴性 製品의 製作

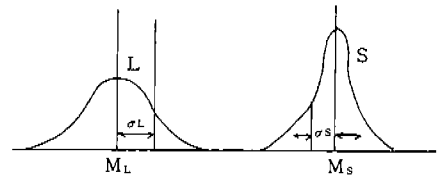
美國의 안전기사 시험문제에 鉛筆心과 작업사다리의 신뢰성에 대한 질문이 있었는데, 檢範圍



〈그림 34〉機械의 破壞事故 原因分析



(A) 鉛筆心の 信賴性



(B) 作業用사다리의 信賴性

〈그림 35〉確率密度曲線에 의한 信賴性

답은 그림 35와 같다. 이들의 의미는 強度와 負荷에는 특유의 不均一性이 존재하고 重要度에 따라서 安全率이 다르다는 것이다.

그림 35의 S 曲線은 강한 頻度曲線이며 L 곡선은 부하의 빈도곡선으로서 확률밀도곡선이라고 한다.

$\sigma_S, \sigma_L$ 은 각각 不均一 정도를 표시하는 표시하는 표준편차이며,  $M_S, M_L$ 은 각각 平均值로서 目標值이다.  $M_S$ 와  $M_L$ 의 비가 일반적으로 安全率이라고 하는 것이다.

연필의 心은 安全率이 작기 때문에 斜線으로 표시한 部分과 같이 負荷쪽이 強度보다 커지는 일이 있어 부러지는 일이 있다는 것을 표시하고 있다.

작업용 사다리는 負荷에 상당히 큰 不均一이 있지만 이것을 上回하는 安全率이 있으므로 折損되는 일이 없는 것을 알 수 있다.

### 5.1 強度의 不均一과 安全率

일정한 壓力에 견디는 容器를 만들려고 해도 결코 일정한 強度의 것만을 만들 수 있는 것은 아닙니다. 목표값보다 강한 것도 만들어지고 약한

것도 만들어진다.

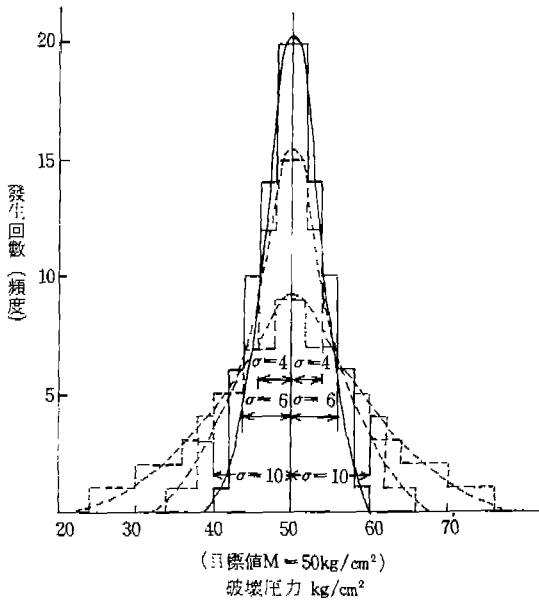
일본 高壓가스保安協會에서는 전국의 대학 및 압력용기 메이커의 연구소에 材料試驗을 실시한 재료를 사용하여 압력용기를 만들고 그 용기로 水壓에 의한 破裂試驗을 한 경험이 있으면 그 결과를 통보해 달라는 양케이트를 실시한 결과 450 건의 成績이 모였다.

이것을 파벨의 식을 이용하여 재료시험에서 얻은 降伏點과 引張強度에서 예상되는 破裂壓力을 算定하여 이것과 실제의 파열압력과 상위를 집계해 본 결과 分散形이 되었다.

이것은 일정한 목표값의 강도를 갖는 압력용기를 만들려고 해도 실제의 강도는 상당한 범위에서 불균일하다는 것을 나타내고 있다.

이와 같은 不均一을 相似則에 의하여 가령 耐壓強度 50kg/cm<sup>2</sup>의 압력용기 100개를 제작하는 경우 실제의 파열압력의 불균일은 그림 36의 實線과 같은 분포가 된다.

또한 材料와 工作 및 감독이 철저한 곳에서 만들어진 것이라도 현재의 기술로는 이 이상의 강도를 갖는 불균일을 적게할 수는 없는 한계라고 생각된다.



〈그림 36〉 100개의 压力容器에 대한 破壞壓力의 確率密度曲線

破線은 일반공장에서 생산되는 용기에 대해서, 그리고 點線은 無認可의 公장에서 만든 容器를 想定해서 不均一을 推測한 것이다.

이와 같이 계단적統計를 平滑한 曲線으로 표시한 것을 確率密度曲線이라고 하며 變動이 큰 것일수록 확률밀도곡선은 평활한 山으로 된다.

이 곡선으로 둘러싸인 면적의 68.2%를 차지하는 中央部分, 이 경우에는 68개의 용기가 포함되는 部分의 片幅  $\sigma$ 를 標準偏差라고 하며 變動의 정도를 나타낸다.

일반적으로 安全率이라고 하는 것은 목표값의 압력과 最高사용압력과의 比인데 파열사고가 발생하는 것은 確率密度曲線이 나타내는 最低의 압력이 最高사용압력보다 낮아진 경우이므로 안전율이 높다고해서 安心할 수도 없으며 변동, 즉 표준편차가 큰 경우에는 사용압력에 견디지 못하는 경우도 있다.

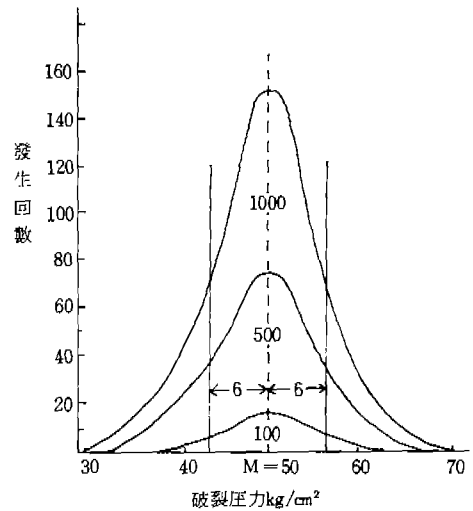
### 5-2 信賴도와 安全率

그림 36은 100개의 압력용기에 대한 시험결과

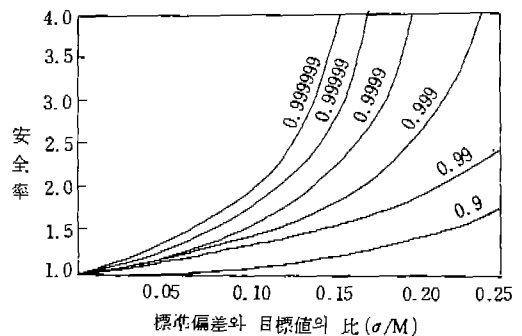
를 표시한 것으로서, 표준편차가  $6 \text{ kg/cm}^2$ 인 破線의 山을 例로 한다면 목표값이  $50 \text{ kg/cm}^2$ 이라도 100개중의 1개는  $36 \text{ kg/cm}^2$ 에 파괴될 위험성이 있다.

만일 이와 같은 종류의 압력용기를 最高 사용 壓력  $36 \text{ kg/cm}^2$ 에서 사용하게 된다면 파열될 확률은 100분의 1로서 신뢰도는 0.99이다.

그림 37은 목표값  $50 \text{ kg/cm}^2$ , 표준편차  $6 \text{ kg/cm}^2$ 의 압력용기 100個, 500個, 1,000個인 경우의 破裂壓力의 확률밀도곡선을 나타낸 것이다.

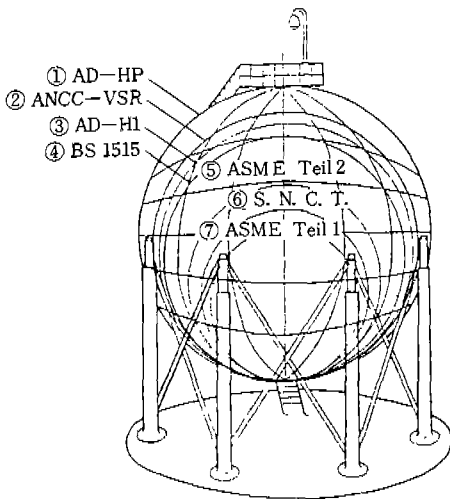


〈그림 37〉 標準偏差  $\sigma = 6 \text{ kg/cm}^2$ 의 破裂 壓力 確率密度曲線



〈그림 38〉 安全率과 標準偏差와 信賴度の 關係





〈그림 39〉 同一條件下에서 各國 技術基準  
으로 製作된 프로판 球形 탱크

압력용기의 신뢰도에 대해서는 일반적으로 0.99999가 요구되고 있으며 신뢰도는 안전율과 표준편차로 정해지는 것으로, 이 관계는 그림38과 같다.

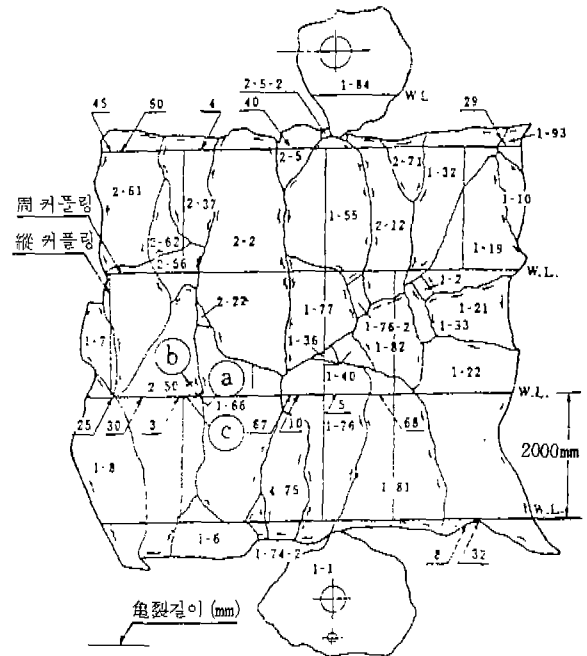
### 5.3 品質保證과 安全率

그림 39는 設計壓力 16kg/cm<sup>2</sup>의 프로판용 구형 탱크를 관두께 30mm, 60kg급의 同一 高張力 鋼을 사용해서 각국의 기술기준에 따라서 설계 하였다면 그림39와 같이 大小相違한 球形탱크로 될 것이라는 논문이 발표되어 각국의 기술기준이 현저하게 다르다는 것을 알 수 있다.

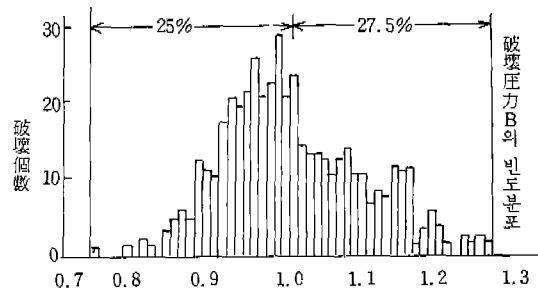
제작시의 품질보증은 물론이고 사용기간 중에도 품질보증이 되어 있으면 安全率을 작게 할 수 있다.

그림39에서 ①, ③이 서독, ②가 이탈리아, ④가 영국, ⑤, ⑦이 미국, ⑥이 프랑스의 기술기준으로서, ①, ②, ⑤가 각각 나라의 특정규격이다.

영국은 品質保證된 특정규격으로 一體化되어 있으며, 일본의 압력용기 규격은 ①에 상당하는데, 최근에 와서는 별도로 ⑤에 상당하는 특정



〈그림 40〉 反應塔破裂事故에 있어서의  
破片地圖



〈그림 41〉 圓筒의 파괴압력 實測值

규격이 제정되었다고 한다.

引張強度에 대한 許容應力의 安全率은 ①은 2.1이며 ④는 2.35이고 ⑤는 3, ⑦은 4이다.

한편 安全率이 높다는 것만으로 안전하다고는 할 수 없는 것은 그림38에서도 설명하였듯이 품질보증체제가 매우 중요한 것이다.

(다음 호에 계속)