

# 機器의 信賴性에 關하여 (Ⅱ)

金 喜 澈

Reliability of machinery

Kim Hi Choul

## Abstract

In modern high-developed machins of all Kinds, Problems of reliability have been of serious Concern.

By means of data from random failure, the method for computing the reliability of cylinder liner and piston Compression ring is presented in this paper.

## 〈目 次〉

- |                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| I. 序 論           | VI. 系의 信賴性              |
| II. 信賴性的 起源과 必要性 | VII. Data 收集            |
| III. 信賴性的 定義     | VIII. Engine 部品の 信賴性 計算 |
| IV. 信賴性的 表示      | IX. 結 言                 |
| V. 故障의 性質        |                         |

## I. 序 論

近代에 있어서 信賴性은 諸用途의 機械 및 運轉, 保全에 있어서 重要な 條件으로 되고 있으며, 技術的 條件으로 信賴性自體의 定量的 把握과 客觀的 評價가 必要하게 되었다. 여기에서는 信賴性函數로서 Engine 部品の 信賴性을 表現하는 實例을 U. S. NAVY MARINE ENGINEERING LABORATORY 에서 收集한 故障 Data 을 利用하여 Cylinder liner 및 Piston Compression Ring 의 平均壽命에 關한 算法을 例示하였다.

## II. 信賴性的 起源과 必要性

信賴性 또는 信賴度란 Reliability 라는 英語의 釋이며 Reliability 와 Engineering 을 結合한 것 을 信賴性工學이라 一般的으로 말하고 있다.

Reliability 라는 말은 比較的 새로운 말로서 Reliability 의 說明에는 第二次世界大戰中の 高信賴度管開發이 事例로서 提示되고 있다. 즉 前述한 大戰中の 美軍의 極東에 供給된 航空機器 및 海軍의 電子機器의 大半이 使用할수 없었다는 調査結果로서 이것들의 主要原因이 當時의 眞空管의 故障에 依한 것이었고 이 때문에 高信賴度の 眞空管이 開發되었다는 것이다.

그러나 設計者로서는 옛날부터 故障現象에 對하여 考慮하여 왔던 것이며 예컨대 最初의 蒸汽

船의 設計者는 大洋을 安全하게 橫斷하는데 對한 要求에 依해서 Boier, Steam Engine 을 設計하였던 것이며 萬一 steam Engine 이 故障일 境遇를 考慮하여 帆航하기 위한 帆을 設計時에 設置하고 있었다는 것은 信賴性工學에서 말하는 Redundancy 가 그 當時에 適用되었다. 또한 自動車에서도 Starter 에 依한 Engine 始動方式이 使用하게 되었다 하더라도 長期間 手始動의 crank가 正系統의 補助部分으로 設備되고 있었으며 이것도 Redundancy 의 一例라고 할 수 있다. Reliability 의 發生은 上記한 바와 같이 옛날부터 考慮되었으나 工學으로서 體系化되고 널리 利用하게 된 것은 最近의 일이며 missile 이나 人工衛星의 開發을 보더라도 理解할 수 있다. 이와같이 信賴性이 重視되고 있는 理由는

- (1) System 나 製品에 附與되는 任務나 機能이 高度化되고
  - (2) System 나 製品이 量的으로 膨大化, 複雜化되어 故障의 Chance 가 增大되었다.
  - (3) System 나 製品의 機能上的 要求를 實現시킬려면 安全係數를 必要 以上으로 取한 設計는 不必要하며 經濟的, 技術的으로 合理的인 信賴性 技術이 必要로 되었다.
  - (4) 技術開發의 tempo 가 빨라 新技術, 新材料 등이 開發되어 未評價의 分野가 生起고 不信賴 및 不安全的의 根元이 되기 때문에 遲滯없이 保證할 수 있는 技術이 要求되고 있다.
  - (5) 事物의 複雜化와 더불어 組織도 複雜하게 되어 人間. ——機械系에 있어서 人間에게 附課된 量이 過重하여 人間 mis가 故障 또는 事故의 大 要因으로 되고 있다.
  - (6) 結局 system 나 製品의 品質, 特히 時間的 品質을 保證하려면 그 開發에서부터 使用時까지 全壽命을 通하여 技術의 蓄積과 積極的인 活用을 通하여 諸技術을 有機的으로 總合하는 管理가 不可缺하게 되었다.
- 等과 같은 것을 들 수 있다.

### Ⅲ. 信賴性的의 定義

信賴性이란 抽象的인 概念은 “system, 製品 또는 部品의 機能의 時間的 安定性을 나타내는 性質”로 定義되고 있으나 實際로 system 나 製品의 信賴性을 測定하고 改善하고 管理하는 立場에서는 具體的으로 確率로서의 信賴度의 定義가 必要하다.

信賴度란 “system 製品 또는 部品이 規定의 條件下에서 意圖하는 期間中 規定의 機能을(故障 없이) 遂行하는 確率”이라 定義하고 있다.

이 定義에서 重要한 것은

- 1) 對象은 무엇인가.
- 2) 機能은 무엇인가. 따라서 機能을 잃은 故障이란 무엇인가.
- 3) 規定의 時間이란 무엇인가.
- 4) 規定의 使用條件은 무엇인가.

等을 明確히 해 두어야 한다. 信賴性的의 定義는 抽象的인 信賴性을 確率로서 數字化하여 이것으로 system 나 製品의 信賴의 程度를 測定하고 比較, 選擇, 保證, 管理하는 共通의 尺度로서 利用되는 것이다. 따라서 1)~4)까지 諸項目이 明確하게 되지 않으면 maker 와 user 의 共通의 尺度로서 信賴性을 把握하고 議論하는 것은 不可能하다.

#### (1) 對象이란

對象은 크게는 system 에서 부터 Bolt nut 等の 部品, 材料까지 어느 것도 좋다. system 을

機器的 信賴性에 關하여(II)

單只 裝置의 集束을 意味하는 것인가. 그 機能이 關係하는 人間의 work도 包含하는 것인가 등을 確實하게 한다. 部分이 故障이라도 全體의 信賴性에는 影響을 미치지 않은 경우도 있다. 事物의 故障이 아니고 人間의 起因에 依한 故障도 많기 때문에 對象의 範圍를 明確히 規定하여야 한다.

(2) 故障이란

機能을 喪失한 非正常인 狀態, 즉 故障의 定義는 重要하며 簡單히 規定하기는 困難하다. TV의 부라운관이 切斷되었다든가 glass가 破損하면 完全히 TV는 故障이다. 그러나 畫面이 多少 歪되게 되었다 하더라도 安全故障이라고 말할 수는 없으며 system이 複雜하게 되면 一部分의 不合理的가 全體의 機能에 큰 影響을 미치지 않는 경우도 많다. 또한 故障이란 破壞나 機能喪失만을 뜻하지 않고 境遇에 따라서는 誤動作率의 限度를 定하여 그 以上이면 故障이라고 規定할 수도 있는 것이다.

(3) 規定時間

時間의 規定은 信賴性의 特徵이다. 時間으로서는 文字 그대로 時間인 境遇도 있지만 時間以外의 時間에 相當하는 測度 즉 動作回數, cycle數, 距離 等도 生覺할 수 있으며 時間에도 길이와 質에는 多様하다. 對象에 따라서는 몇年間, 몇십年을 保證하지 않으면 안되는 것이 있는가하면 극히 짧은 時間의 動作이 保證되면 되는 경우도 있다. 信賴性은 만드시 長壽命을 뜻 하는 것은 아니다. 또한 故障을 이르기게 하는 stress의 方法도 同一時間에서도 連續動作, 間隙使用, 保全의 有無, 放置, 保管 등 質的으로 다른 것들이 있다.

(4) 規定의 使用條件

使用狀態는 溫度, 氣壓, 振動, 衝擊, 負荷 等の stress나 環境因子뿐 아니라 使用方法, 保全可能인가, 不可能인가, 有人 無人の 區別, 保全環境, 使用者의 技能 等の 廣義의 環境을 뜻하고 있다. 人間에 比해서 말하면 生活環境에 依해서 短命 또는 長壽를 維持할 수 있는 것과 같다.

使用條件에서 「規定」의 말은 重要한 것으로 故障의 定義에도 關係되며 어떤 高信賴性의 製品도 極端의 負荷가 加해진다면 人間의 mis로 破損하면 當然 故障狀態로 된다. 그러나 이것은 異常使用條件이며 製品의 責任이라고 할 수 없다. 따라서 使用條件을 明確히 規定해 두는 것은 製品에 對해 maker側이 固有의 信賴性을 設計하며 實使用時의 信賴性을 保證하기 위해서도 必要한 것이다. 이것은 故障의 責任이 maker側인지 user側에 있는지의 與否를 決定하는 point로 된다. 또한 繼續 實使用狀態나 stress의 情報를 收集하여 對策을 새우며 더욱 user에게 信賴있는 使用方法을 指導하는 것은 maker의 義務이기도 한 것이다.

IV. 信賴性의 表示

對象으로 하는 機器 또는 部品의 集團에 對하여 使用總數  $N_0$  個中 使用時間  $t$  사이에  $N_f(t)$  個가 故障으로 作動을 停止하고,  $N_0 - N_f(t) = N_s(t)$  個가 時間  $t$  를 經過한 後에도 繼續作動한다 할 때 時間  $t$  까지의 故障의 確率을  $F(t)$  라면

$$F(t) = \frac{N_f(t)}{N_0}$$

嚴密히는  $F(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N_f(t)}{N_0}$  이고

信賴性函數(殘存確率)로서

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0} = 1 - F(t) \dots\dots\dots ①$$

을 定義한다.

時刻  $t$  에서의 瞬間 故障率로서

$$\lambda(t) = -\frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_s(t)}{dt}$$

을 利用하면

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\lambda(t) \cdot R(t)$$

또는

$$\log R(t) = -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt \dots\dots\dots ②$$

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt\right)$$

$$\therefore F(t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt\right)$$

$F(t)$ 의 導函數를  $f(t)$ 로 表示하고 이것을 故障의 確率密度函數라 定義하면 時間  $t$  와  $dt$  時間 사이에 故障일 確率は  $f(t) \cdot dt$  이므로

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

機械가 故障없이 作動하고 있는 時間의 平均値를 平均壽命(mean time between failure) MTBF 라 말하고

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

이것은 全作動時間을 그 間의 故障率로 除한 것이며 偶發故障期에서는 故障率이 一定이므로

$$\lambda(t) = Z = \text{constant}$$

$$R(t) = \exp(-Z \cdot t) = e^{-\lambda(t)t} \dots\dots\dots ③$$

$$\therefore MTBF = \frac{1}{Z}$$

로 表示된다.

### V. 故障의 性質

信賴度函數  $R(t)$ 을 求하기 위해서는 먼저 故障發生의 樣相을 確率의으로 生覺하여야 하며 따라서 故障의 密度函數

$$f(t) = \frac{1}{N_0} \cdot \frac{dN_f}{dt} = \frac{dF}{dt} = -\frac{dR}{dt}$$

를 定義하고

$$\lambda(t) = -\frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_s}{dt}$$

와 더불어 故障發生의 時間에 對한 分布의 여러가지 類形을 比較하는 特性值로 利用된다.

例로서 人間의 壽命統計에 適用해 보면

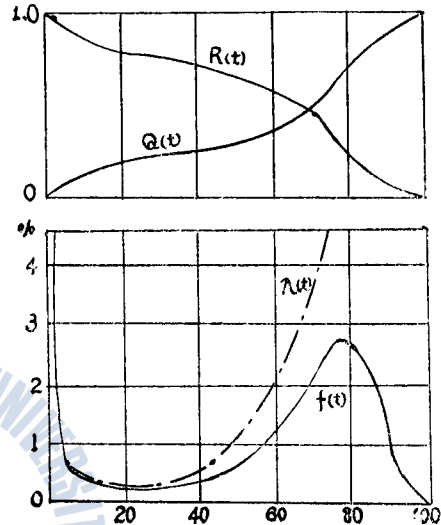
$\lambda(t) = t$  歲人의 年令別死亡率

$f(t) =$  壽命分布 = 壽命이  $t$  歲일 確率

$F(t) = t$  歲 未滿에 死亡할 確率

$R(t) = t$  歲 以上 生存하는 確率 = 人口의 年令別 分布에 該當하며 그 分布는 그림과 같다.

이 그림에서 明白한 바와 같이 分布狀態는 3種의 類形이 있다. 즉 初期 故障이란 經過時間이 短時間內에 發生하며 時間의 經過와 더불어 急速히 發生率이 減少하는 傾向을 갖는 故障이다. 量產品中의 不良品, 品質檢査의 不徹底 等に 起因되는 것이 많다. 損耗故障은 이와 反對로 經過時間이 長期間이 되면 徐徐히 그 發生率이 增加하는 性格의 故障이고 物理的으로 材料強度 또는 性能의 劣化의 進行現狀인 경우가 많다. 이 兩者의 中間의 領域에 있는 故障의 發生은 偶發的이며 發生率의 時間依存性은 認定할 수 없다. 이와 같은 故障을 偶發故障이라 말한다. 우리들은 實際로 發生한 故障의 記錄을 統計的으로 處理하여 그 發生確率에 따라서 分布函數을 求하며 普通 解析的으로 取扱하는 代表的인 分布函數는 여러가지 있으나



(人間의 壽命統計)

偶發故障에 對해서는

$$\lambda(t) = \text{constant}$$

이므로

指數函數

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

損耗故障에 關해서는 平均壽命  $m$  을 豫想하여 이것을 中心으로 하는 正規分布

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$$

를 들 수 있다.  $\sigma$  는 標準偏差임.

## VI. 系의 信賴性

機器나 裝置는 本來多數의 部品이 結合된 複雜한 系이며 그 構成如何에 따라서는 어느 1個의 部品이 故障이면 系全體의 機能이 停止하는 경우와 部品의 1個, 2個의 故障으로는 系全體로서의 所期目的의 達成에는 故障없고, 一定數나 全部 故障이면 機能을 喪失하는 경우와 같은 두가지의 基本的인 Model을 生覺할 수 있다.

系의 信賴性을  $R(t)$ 라 하고 個個의 構成要素의 信賴性을  $R_i(t)$ 로 表示하면 前者의 直列系에서는

$$R(t) = \prod_i^n R_i(t)$$

後者の 並列系에서는 (萬一 構成部品中 1個라도 作動하면 系全體의 目的이 達成된다고 假定하면)

$$R(t) = 1 - \prod_i^n [1 - R_i(t)]$$

이다.

따라서 直列系를 갖는 機器에 있어서는 그 構成部品の 數를 減할 것과 條件이 許容하는 限 目的 達成을 위하여 並列系로 하는 것이 信賴性을 높이는 方法이 된다.

또한 系에 몇개의 豫備部品이 備置되어 故障發生과 同時에 取換하면 그 系의 信賴性은 顯著히 改善된다. 假令 自動車에 豫備 tyre 1個가 備置되어 있는 경우를 生覺하면 tyre 1個가 t時間 故障없이 使用할 수 있는 確率을  $e^{-\lambda t}$ 로 表示하면.

4個輪이 同時에 t時間 故障없을 確率은  $R(t) = e^{-4\lambda t}$ 이다.

豫備 tyre 1個인 경우는 車의 使用可能에 對해서는 3個의 tyre가 t時間 故障없을 것이 先決 條件이고 그 確率은  $e^{-3\lambda t}$ 로 된다. 나머지 1個의 tyre에 對해서는 t時間 途中 Puncture인 경우도 1個의 代替品을 備置하고 있기 때문에 이때 安全의 確率은

$$R'(t) = \lambda t \cdot e^{-\lambda t}$$

로 表示된다.

그러나 이 경우는 4個의 tyre中 어느 것에서도 일어날 可能性이 있기 때문에

$$R(t) = 4 \lambda t \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-3\lambda t} = 4 \lambda t \cdot e^{-4\lambda t}$$

로 表示되며 車의 安全確率을 以上 두가지 條件을 同時에 滿足하여야 하므로 이 系의 信賴性은

$$R(t) = e^{-4\lambda t} + 4 \lambda t \cdot e^{-4\lambda t} = e^{-4\lambda t} \cdot (1 + 4\lambda t)$$

이다.

이와같이 系의 構成에 考案을 加하여 機械裝置의 信賴度를 改善할 수 있다.

## VII. Data 收集

信賴性의 保證은 첫째 信賴性 Data가 根元이 되며 이때 問題는 어데서 收集하는가 하는 것이다. 從來의 常識으로는 充分히 管理된 狀態에서 壽命 Data를 取하는 것이 바람직하다. 그런데 이것을 實驗室과 같은 곳에서 取하면 實行上 많은 難關이 있으며 즉 長期間을 要하며 많은 部品과 裝置를 試驗하지 않으면 안된다. 따라서 實際로 User가 使用하였을 때의 Data를 取하는데 여기에서도 다른 難點이 指摘된다. 그것은 User의 使用狀態가 均一性이 없고 負荷, 保守, 取扱 등이 相異하며 故障일 경우에도 그 原因이 製品固有의 不良性인지 使用條件에 依한 原因인지 判斷하기 困難하다. 따라서 그와 같은 Data를 分析하더라도 誤差가 많고 有効한 結論을 얻기 困難하다는 意見도 있으나 一般의 User의 Data를 첫째로 取扱하는 것이 좋다. 이 때 多量의 Data를 取하여 平均하면 部品の 判斷에 큰 誤差는 없을 것이며 實驗室에서 아무리 좋은 Data라 하더라도 User가 使用하였을 때 平均하여 不良하다는 判斷이 나오면 亦是不良 製品이라고 하지 않을 수 없기 때문이다.

이와같이 信賴性 Data의 收集은 될 수 있는 限 經濟의으로 過去의 情報를 利用하여 信賴性을 높이기 위한 것이며 對象製品의 信賴性에 關한 諸情報는 信賴性目標의 明確化, 設計, 豫測, 製

造, 試驗, 保全, 使用, service 等 今後的 改善에 feed-back 하는 出發點으로 된다.

Data 收集의 目的을 다음과 같이 生覺할 수 있다.

- (1) 系 또는 製品의 故障, 使用環境, stress, User 의 要求, service, 保全, 各種 cost 等의 情報에서 信賴性의 具體的인 要求을 明確히 한다.
- (2) 系 또는 製品의 信賴性, 保全性, 設計에 있어서 比較, 選擇, 信賴度의 制當, 信賴性 또는 保全性의 豫測, 基礎 Data 을 얻는다.
- (3) 系 또는 製品의 信賴性 또는 保全性, 水準의 確認.
- (4) field Data 와 工場 또는 實驗室 Data 와의 比較, 評價試驗方法의 改善.

### VIII. Engine 部品の 信賴性 計算

#### (1) 實質平均壽命(Real mean time between failure)

部品이 故障이면 新品과 交換되고 使用時間이 記錄되는데 이때에 磨耗에 依한 部品交換인지 其他 原因에 依한 것인가에 關해서 注意할 必要가 있다. 한個의 部品에 對해서

$$\frac{1}{\bar{m}} = \frac{n \cdot t}{r} = \frac{T}{r} \dots\dots\dots(a)$$

- $n$ ; 部品數
- $r$ ; 時間  $t$  동안에 發生한 故障數
- $T$ ; 延 Test 時間
- $\bar{m}$ ; 部品の 平均壽命

그러나 實質平均壽命을 求하기 위해서는 無限數의 Sample 이 必要하며 實際에 있어서는 有限의 Sample 에서 生覺하여야 하므로 實質平均値는 어느 平均値와 그 上下의 範圍를 잡아 몇 %의 確率로서 實質平均値는 이 範圍에 있다고 말할 수 밖에 없다. 이것을 信賴水準(Confidence level)이라고 말한다.  $\alpha$ 의 信賴水準을 利用하여 生覺하면 實質平均値  $m$ 는  $(1-\alpha)$ 의 確率로서 다음의 上下限 사이에 存在한다.

$$\text{下限 : } L = \frac{2r(\bar{m})}{X^2(2/2; 2r)} \dots\dots\dots(b)$$

$$\text{上限 : } U = \frac{2r(\bar{m})}{X^2(1-\alpha/2; 2r)} \dots\dots\dots(c)$$

最後의 故障이 Test 中 發生하는 경우

$$L = \frac{2r(\bar{m})}{X^2(\alpha/2; 2r+2)} \dots\dots\dots(b')$$

$$U = \frac{2r(\bar{m})}{X^2(1-\alpha/2; 2r)} \dots\dots\dots(c')$$

이며

Normal Distribution (正規分布) 函數에 있어서는 平均値  $M$ (時間), 標準偏差  $\sigma$ 로 磨耗 等의 現象에 對해서 說明할 수 있다.

正規分布 函數는

$$R(\cdot) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\cdot} \exp \left[ -\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2} \right] dt \dots\dots\dots(d)$$

이며 完全한 磨耗 Test 에 依해서 다음과 같이  $\bar{m}$ ,  $\bar{\sigma}$  을 推定한다.

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i w}{rw} \dots\dots\dots (e)$$

$$\bar{\sigma} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i w - M)^2}{rw}} \dots\dots\dots (f)$$

n 個의 部品의 n 回 故障에 依해서 平均値의 標準偏差는 標準誤差  $\sigma(M)$ 로 하여

$$\sigma(M) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

로 表示되며 實質平均壽命은 다음 範圍에 存在한다.

$$L = M - (t\alpha/2; n-1) \frac{S}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (g)$$

$$U = M + (t\alpha/2; n-1) \frac{S}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (h)$$

<表 1>  $\bar{m} = T/r$  으로 부터 上下限 推定值(信賴水準  $1-\alpha$ )을 求하기 위해  $\bar{m}$ 에 곱하는 係數  
(添字 L는 下限 U는 上限)

| 推 定 方 法 | fixed number testing plan      |                                 | fixed time testing plan              |                                  |
|---------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|         | (MTBF) L                       | (MTBF) U                        | (MTBF) L                             | (MTBF) U                         |
| 兩 側 推 定 | $\frac{2r}{x^2(2r, \alpha/2)}$ | $\frac{2r}{x^2(r, 1-\alpha/2)}$ | $\frac{2r}{x^2\{2(r+1), \alpha/2\}}$ | $\frac{2r}{x^2(2r, 1-\alpha/2)}$ |

注)  $x^2$ 의 分布는 故障數의 期待值  $q = \lambda T$ 에 對해서  $2q = 2\lambda T = 2T/MTBF = x^2$ 의 關係에서  
 $MTBF = \bar{m} 2r/x^2$ .

<表 2> 信賴水準 90%로 MTBF의 兩側推定值를 求하기 위해서  $\bar{m} = \frac{T}{r}$ 에 곱하는 係數

| 故 障 數 | fixed number testing plan |      | fixed time testing plan |      |
|-------|---------------------------|------|-------------------------|------|
|       | 上 限                       | 下 限  | 上 限                     | 下 限  |
| 1     | 19.42                     | 0.21 | 19.42                   | 0.33 |
| 2     | 5.63                      | 0.32 | 5.63                    | 0.42 |
| 3     | 3.66                      | 0.39 | 3.66                    | 0.48 |
| 4     | 2.93                      | 0.44 | 2.93                    | 0.52 |
| 5     | 2.54                      | 0.46 | 2.54                    | 0.55 |
| 6     | 2.29                      | 0.51 | 2.29                    | 0.57 |
| 7     | 2.13                      | 0.53 | 2.13                    | 0.59 |
| 8     | 2.01                      | 0.56 | 2.01                    | 0.61 |
| 9     | 1.92                      | 0.57 | 1.92                    | 0.62 |
| 10    | 1.84                      | 0.59 | 1.84                    | 0.63 |
| 15    | 1.62                      | 0.65 | 1.62                    | 0.69 |
| 20    | 1.51                      | 0.69 | 1.51                    | 0.72 |
| 30    | 1.39                      | 0.74 | 1.39                    | 0.76 |



|     |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|
| 40  | 1.33 | 0.77 | 1.33 | 0.79 |
| 50  | 1.28 | 0.79 | 1.28 | 0.81 |
| 100 | 1.19 | 0.85 | 1.19 | 0.86 |

(2) 實 例

U.S. Navy Marine Engineering Laboratory에서 行한 解析에 對해서 紹介하면 Data는 VT 12 M, Diesal Engine 35隻의 patrol 船, 各船에는 4台的 VT 12M Engine 設置, 140台的 Engine에 對한 故障 Data가 記錄되어 있고 이것에 依해 部品の 信賴性을 求한 것이다.

i) cylinder liner의 信賴性

本 Engine에는 鑄鐵의 cylinder liner, chrome gilding의 piston Ring이 使用되고 있으며 Cylinder liner에 關한 故障는 다음 表 3과 같다.

〈表 3〉 VT 12 M Engine의 Cylinder liner 故障記錄 Data

| 期 日          | Unit No. | Engine No. | 運轉時間 (h) | 原因—發 見 된 理 由  | 修 理 cost(\$) | 修理時間 (h) |
|--------------|----------|------------|----------|---|--------------|----------|
| 1955. 8. 15  |          | 2          | 1950     | liner의 Scratch-compression 低下에 依해 發見                                | 120          |          |
| 1957. 2. 28  |          | 2          | 2863     | liner의 裏面이 Cavitation에 依해서 Pin-hole이 生김 (信賴性 解析不考慮)                 | 250          | 500      |
| 1957. 1. 11  |          | 4          | 2        | 上 同   | 250          | 500      |
| 1957. 6. 24  |          | 3          | 3450     | 1 Cylinder liner에 crack 發生, liner 裏面에 Pitching, 潤滑油中에 多量의 混水로 發見    | 25           | 15       |
| 1957. 8. 24  |          | 2          | 3666     | 1 Cylinder liner에 Crack 發生, 上同                                      | 30           | 15       |
| 1957. 9. 14  |          | 4          | 360      | 上 同   | 300          | 48       |
| 1957. 11. 18 |          | 3          | 4017     | 上 同   | 30           | 15       |
| 1959. 2. 16  |          | 1          | 400      | liner의 Scratch-Compression의 減少로 發見                                  | 150          | 200      |
| 1961. 10. 23 |          | 3          | 0        | over-haul時, liner에 crack 發生을 發見, 最初의 保全作業時 發見하지 못하였기 때문에 信賴性 解析不考慮. | 15           | 12       |
| 1962. 2. 5   |          | 4          | 8        | 鑄物不良으로 因한 liner crack 發生, 上記와 같은 理由로 信賴性 解析不考慮                      | —            | —        |
| 1962. 7. 12  |          | 2          | 1308     | 6個의 liner의 上部에 crack 發生   | 2000         | —        |
| 1962. 7. 30  |          | 2          | 2974     | liner에 crack 發生, 裏面에 Pitching                                       | 86           | 24       |
| 1963. 2. 11  |          | 4          | 2626     | liner에 crack와 Pitching 發生, 燃料油壓이 높고, 作業者의 mis로 生覺됨.                 | 600          | 102      |

上記 表에서 cylinder liner 의 信賴性 Data 計算을 하면

故障의 平均值  $\bar{m}$  는

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \frac{nt}{r} = \frac{T}{r} \\ &\begin{cases} n = 12 \times 4 \times 35 \text{ (12氣筒} \times 4\text{台} \times 35\text{隻)} \\ t = 3000 \text{ 時間} \end{cases} \\ \therefore T &= nt = 5.04 \times 10^6 \\ r &= 14 \text{ (表 3. 故障數)} \\ \therefore \bar{m} &= \frac{5.04 \times 10^6}{14} = 3.6 \times 10^5 \text{ (h)} \end{aligned}$$

이다.

信賴水準 90%로서 平均值의 範圍을 求해 보면

$$\begin{aligned} L &= \frac{2T}{x^2(\alpha/2, 2r)} = \frac{2r\bar{m}}{x^2(\alpha/2, 2r)} \\ &= \frac{2r}{x^2(\alpha/2, 2r)} \cdot \bar{m} = 0.68 \times 3.6 \times 10^5 \\ &= 2.45 \times 10^5 \text{ (h)} \end{aligned}$$

(表 2에서  $\frac{2r}{x^2(\alpha/2, 2r)}$  의 값을 比例法則에서 0.68 을 얻음)

ii) Piston Ring 의 信賴性

cylinder liner 와 같이 Piston compression Ring 의 故障에 關한 Data 을 收集하여 表 4와 같이 偶發故障에 關한 平均壽命  $\bar{m}$  와 信賴水準 90%의 平均值 範圍을 求해 보면

〈表 4〉 (Piston compression Ring 의 故障 Data (VT 12M))

| 日 時          | Unir No. | Engine No. | 運轉時間 (h) | 原因-發見된理由  | 修理 Cost(\$) | 修理時間 (h) |
|--------------|----------|------------|----------|---|-------------|----------|
| 1956. 11. 27 |          | 4          | 3057     | 原因不明-Ring 不良이라 生覺됨, 高潤滑油消費量으로 發見, 2,500h 後부터 始作 | 500         | 300      |
| 1957. 12. 28 |          | 2          | 2863     | Top Ring 의 折損                                   | 36          | 500      |

平均壽命  $\bar{m}$  은

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \frac{nt}{r} = \frac{T}{r} \\ n &= 3 \times 12 \times 4 \times 35 \text{ (3個} \times 12\text{氣筒} \times 4\text{台} \times 35\text{隻)} \\ &= 5.04 \times 10^3 \\ r &= 2 \\ t &= 3000 \text{ h} \\ \therefore \bar{m} &= \frac{1.51 \times 10^7}{2} = 7.5 \times 10^6 \text{ (h)} \end{aligned}$$

信賴水準 90%로 平均壽命의 範圍은

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{2T}{x^2(\alpha/2; 2r+2)} = \frac{2r\bar{m}}{x^2(\alpha/2; 2r+2)} \\
 &= \frac{2r}{x^2(\alpha/2; 2r+2)} \cdot \bar{m} = 0.32 \times 7.5 \times 10^6 \\
 &= 2.40 \times 10^6 (h) \\
 &\quad \left( \frac{2r}{x^2(\alpha/2; 2r+2)} \text{은 表 2에서 0.32 일음} \right)
 \end{aligned}$$

例示한 바와 같이 個個의 部品의 信賴性函數로 부터 直列系 또는 並列系의 group의 信賴性과 이 group를 結合한 Engine의 信賴性算出에 approach하는 同時에 部品 또는 group의 平均壽命을 알 수 있고 理論的으로 檢討된 over haul 間隔을 求하는 것이 可能하게 된다.

### 結 言

信賴性技術은 近代의 進歩된 數學的 理論으로 展開된 抽象的 結果를 現實的인 實際問題에 適用하여 解決해야 할 難題가 많으며 實用化 되려면 收集된 資料를 統計的으로 處理하는 技術이 必要하며 製造者側의 實驗 Data 보다 使用者側의 故障記錄 Data源이 中心이 되어 必要한 資料가 使用者에서 製造者에 Feed back 되는 情報交換의 恒久的인 組織이 必要하게 된다. 故障記錄이 信賴性 Data에 利用되기 위해서는 故障發生時까지의 運轉時間, 保修整備의 狀況, 故障의 內容 經過 등 Data가 提供 되어야 하며 이런 것은 平素 機器의 現狀이 正確詳細하게 管理 把握되어야 하며 機器의 点檢 및 整備作業의 樣式化, 基準化等 使用者가 信賴性確保의 目的으로 運轉 管理되지 않으면 안된다.

### 參 考 文 獻

- 鹽見弘 著: 信賴性入門.  
 電子技術: VOL 7, No. 9, SEP 1965.  
 機械의 研究: VOL 18, No. 12, DEC 1966.  
 VOL 20, No. 1, JAN 1968.  
 Electronics: 8月, 1967.  
 日本機械學會誌, VOL 70, No858, OCT 1967.  
 日本舶用機關學會誌, VOL 4, No. 10, DEC 1969.  
 船 舶: VOL 39, DEC 1966.  
 內燃機關: VOL 1.8, No. 86, JUL 1969.  
 VOL 1.9, No. 95, APR 1970.  
 VOL 1.9, No. 96, MAY 1970.  
 VOL 1.9, No. 97, JUN 1970.  
 VOL 1.9, No. 98, JUL 1970.

