

# 시스템의 信賴性 保證方法에 對한 研究 (A Study on the Methods of Systems Reliability Assurance)

李 相 鎔\*

## ABSTRACT

In principle the methods of increasing the reliability of complex system can be classified into the following four basic methods:

- (1) using the stand-by redundancy;
- (2) decreasing the failure rate of the system;
- (3) decreasing the time of continuous operation;
- (4) decreasing the mean repair time.

Among the above four methods, it is generally known that the method of stand-by redundancy is the most effective, in general, to increase the reliability of systems.

Therefore this paper aims to compare the gain in reliability which is achieved by applying stand-by redundancy with other methods, and to show the characteristics of each method.

From the comparison of the methods of increasing reliability, the following important facts are found:

When the method of stand-by redundancy is used to increase the reliability of complex systems intended for long-term operation, a high multiplicity of stand-by redundancy is required. Thus an increase of the reliability of complex system by applying stand-by redundancy is realized at the expense of characteristics such as weight, size, cost, increased complexity of operation conditions. And this property restricts its use in systems which are critical with respect to weight, size, cost or operation conditions.

The method of stand-by redundancy is the most effective when this method is used to increase the reliability of complex systems intended for short-term operation, and the method of decreasing failure rate is the most effective when it is used to increase the reliability of systems intended for long-term use.

The methods of increasing reliability discussed in this paper make it possible to make highly reliable systems. But it is not possible to make a highly reliable system using a single method of increasing reliability, even if it is the most effective one.

Therefore it is recommended to use all or a majority of the above four methods by choosing it in accordance with the properties of the system under construction.

\* 建國大學校 工科學 産業工學科 教授 · 本研究는 文敎部 支援에 의한 것임

## 1. 序 論

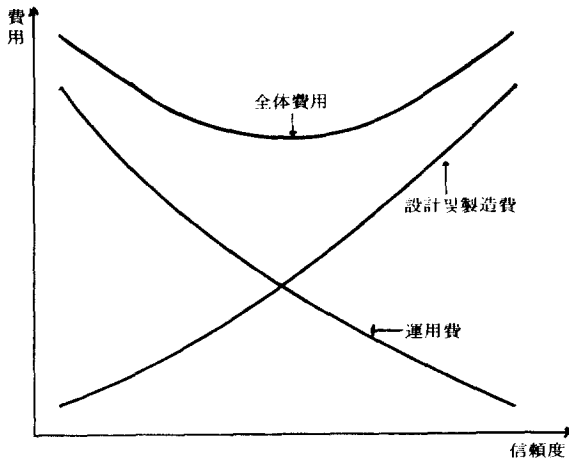
시스템의 信賴度가 낮으면 이의 非稼動時間이 길어지고 運用費가 增大하며 致命的인 故障을 誘發시킨다. 信賴度가 낮은 시스템이 民生用인 경우 이것은 費用의 增大와 生産性的 低下를 招來시키며, 軍사용인 경우 이것은 戰鬪效果를 低下시키게 된다.

시스템의 信賴度를 要求水準으로 增大시키기 위한 設計 및 製造方法은 많이 있다. 그러나 이러한 方法을 使用하여 製造된 시스템의 重量, 부피 및 原價는 커지게 된다.

高信賴度시스템의 設計와 製造에 原價가 비싸지게 되는 것은 高信賴度시스템을 만들기 위해서는 高價의 部品을 使用하여야 하고, 設計時間이 길어 지며 特殊한 製造技術을 使用하여야 하기 때문이다.

그러나 高信賴度시스템은 低信賴度 시스템에 比하여 故障回數가 적어지기 때문에 시스템의 非稼動時間과 待機部品の 數를 減少시키며, 高度로 熟練된 保全技術者의 數도 減少시키게 됨으로 結果的으로는 시스템의 運用費를 節減시키게 된다. 故로 시스템의 信賴度를 增加시키면 設計 및 製造費는 增加되지만 運用費는 減少하게 된다.

(그림1은) 이와 같은 信賴도와 費用의 關係를 나타낸 것이다.<sup>(1)</sup> 이 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 시스템의 設計, 製造 및 運用의 全體費用이 最少가 되는 最適信賴度가 存在한다는 것을 알 수 있다.



(그림 1) 信賴性和 費用과의 關係

(1) 參考文獻 (6)

따라서 本論文에서는 여러가지의 시스템의 信賴性增大方法을 計量的 特性面에서 分析比較하고, 各方法의 效果를 解析評價함으로써 信賴性, 重量, 부피 및 原價의 諸面에서 가장 效果的인 信賴性增大方法을 檢討하여 보기로 하겠다.

## 2. 시스템의 信賴性增大方法

信賴度가 指數法則에 따르는 경우 待機리던던시 (Stand-by Redundancy)를 使用하지 않은 시스템의 計量的 信賴度特性和 信賴度係數 (Reliability coefficient)는 시스템의 故障率 ( $\lambda_s$ ), 平均修理時間 ( $\bar{t}_r$ ) 및 시스템의 連續作動時間 ( $t$ )으로 表現된다. 待機리던던시를 使用한 시스템인 경우에는 이것 以外에 待機리던던시의 方法과 그의 重複度 (multiplicity)  $m$ 에 의하여 決定된다.

따라서 信賴性이 指數法則에 따르는 경우 시스템의 信賴性은 (1) 式과 같이 表現할 수 있다.

$$\text{信賴度} = f(\lambda_s, t, \bar{t}_r, m \text{ 待機리던던시의 方法}) \dots\dots\dots (1)$$

이식의 表現에 따르면 시스템의 信賴性增大方法은 原則的으로 다음과 같은 4가지 方法으로 集約할 수 있으며 이것들은 모두가 시스템의 設計, 製造 및 使用의 全過程을 通하여 實現된다.

- (1) 待機리던던시의 使用
- (2) 시스템의 故障率減少
- (3) 시스템의 連續作動時間의 減少
- (4) 平均修理時間의 減少

시스템의 設計過程에서 以上の 信賴性 增大方法들을 實現하고, 시스템의 信賴性을 가장 效果的으로 增大시키기 위하여 一般的으로 많이 使用되고 있는 方法은 다음과 같다.

- (1) 待機리던던시의 活用
- (2) 시스템의 單純化
- (3) 高信賴度의 部品使用
- (4) 部品故障의 事後影響을 制限하기 위한 構造的 設計方案의 講究
- (5) 部品の 電氣的, 機械的, 熱的 및 其他作動條件의 輕減
- (6) 部品과 組立品の 標準化 및 統一化
- (7) 試驗의 自動化

以上의 方法은 信賴度가 낮은 部品으로 信賴度가 높은 시스템을 만들수 있게 할 뿐 아니라 시스템의 故障率을 減少시키고, 平均修理時間도 減少시키며 또한 시스템의 連續인 作動時間을 增加시키게 한다.

시스템의 製造過程에 있어서는 一般적으로 다음과 같은 方法에 의거 시스템의 信賴性을 增大시킨다.

- (1) 製造技術의 向上
- (2) 製造工程의 自動化
- (3) 製造品質의 統計的管理
- (4) 部品과 시스템의 事前검들이기

以上의 方法은 主로 시스템의 故障率을 減少시킴으로써 시스템의 信賴度를 增大시키게 된다.

시스템의 使用過程에 있어서는 시스템의 信賴度를 增加시키는 것이 아니고 設計와 製造過程에서 形成된 시스템의 信賴度를 될 수 있는대로 長期間 保存하는 것이 된다. 따라서 이를 위하여는 다음과 같은 豫防保全(Preventive Maintenance)과 修理方法을 科學적으로 設定하여 實施하여야 한다.

- (1) 適切한 點檢周期과 回數의 決定
- (2) 適切한 保管條件의 設定
- (3) 適切한 連續作動時間의 設定

以上 시스템의 信賴性增大方法에 對하여 設計, 製造, 使用의 過程別로 나누어 살펴 보았으나 시스템의 信賴性增大方法의 基本이 되는 것은 (1)式에서 볼 수 있는 바와 같이 4가지로 集約할 수가 있다. 따라서 이 4가지의 信賴性增大方法을 計量的特性面에서 分析比較하고 各方法의 效果를 解析評價함으로써 어느 경우에 어느 方法을 使用하는 것이 가장 効果的인 가를 檢討해 보기로 하겠다.

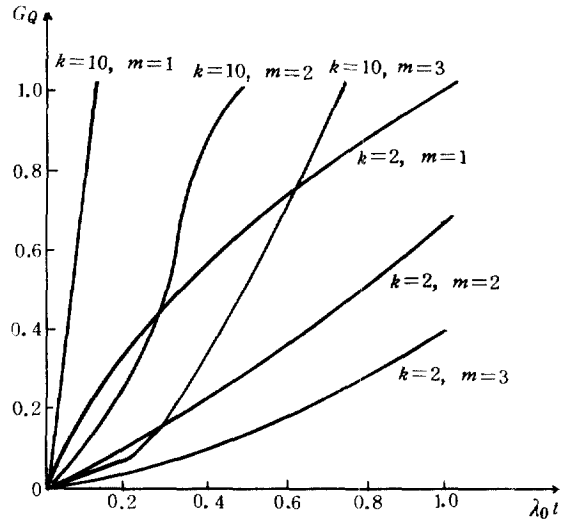
### 3. 待機리던던시의 方法과 故障率減少方法의 比較

待機리던던시의 重複度를  $m$ , 故障率의 減少係數를  $K$ 라고 하면 信賴度가 指數分布에 따르는 경우 故障確率로 나타난 信賴度利得(reliability gain)<sup>(2)</sup>은 (2)式과 같이 된다.

$$G_Q(t) = \frac{(1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}{1 - e^{-\frac{\lambda_0 t}{K}}} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서  $\lambda_0$ 는 待機리던던시가 없고 故障率이 減少되지 않은 主시스템의 故障率임.

(2)式에서  $\lambda_0 t$ 의 값이 아주 적으면  $(1 - e^{-\lambda_0 t})$ 는  $\lambda_0 t$ 가 된다. 그러므로  $G_Q(t) \approx K(\lambda_0 t)^m$ 가 되고,  $\lambda_0 t$ 의 값이 아주 크면  $\lim_{t \rightarrow \infty} G_Q(t) = 1$ 이 된다는 것을 알 수 있다. 이제 이것을 그림으로 나타내기 위하여  $m$ 와  $K$ 의 여러가지 값에 對하여  $\lambda_0 t$ 와  $G_Q(t)$ 의 關係를 圖示하면 (그림 2)와 같이 된다.



(그림 2)  $\lambda_0 t$ 와  $G_Q$ 의 관계

(그림 2)에서 알 수 있는 바와 같이 故障確率에 의한 信賴度利得  $G_Q(t)$ 는  $\lambda_0 t$ 가 아주 적으면 0이 되고,  $\lambda_0 t$ 가 增加함에 따라 1에 接近하게 된다.

以上과 같은 事實은  $\lambda_0 t$ 의 값이 적으면 待機리던던시의 方法이 信賴性增大를 위한 效果的인 方法이 되고,  $\lambda_0 t$ 의 값이 크면 시스템의 故障率을 減少시키는 方法이 더욱 效果的임을 나타내고 있다.

다음에는 故障없이 作動될 平均時間에 의거 2方法의 效果를 比較하기 위하여 故障없이 作動될 平均時間에 따른 信賴度利得을 式으로 나타내면 (3)式과 같다.

$$G_T = \frac{T_s}{T_0} = \frac{\sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i}}{K} \dots\dots\dots (3)$$

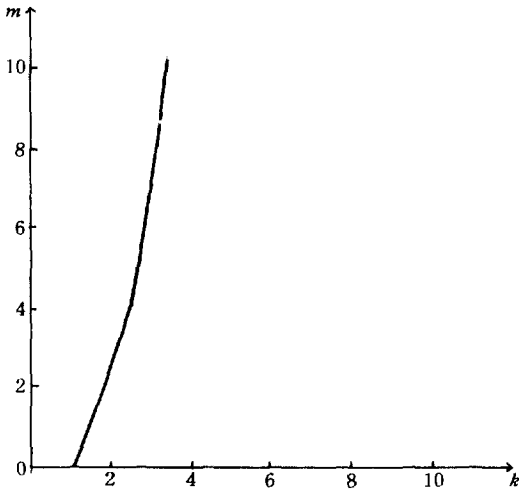
(2) 여기에서 信賴度利得이란 待機리던던시가 있는 시스템의 計量的 信賴度特性과 待機리던던시가 없으나 故障率이  $K$ 배로 減少된 시스템의 計量的 信賴度 特性의 比를 말한다.

여기서  $T_s$ 는 待機리던던시가 있는 시스템의 故障 없이 作動될 平均時間이고  $T_0$ 는 待機 리던던시는 없으나 故障率이  $K$ 배로 減少된 시스템의 故障 없이 作動될 平均時間임.

(3)式에서 만일 다음의 條件이 滿足되면 待機리던던시의 方法이 故障率의 減少方法에 比하여 더욱 效果的임을 알 수 있다.

$$\sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i} > K \dots\dots\dots (4)$$

(그림 3)은 (4)式的 極限關係를 圖示한 것이다. 이 그림에서 (4)式的 條件은 待機리던던시의 重複度  $m$ 가 매우 클때 滿足됨을 알 수 있다.



[그림 3]  $k$ 와  $m$ 의 極限關係

이 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 시스템의 故障率을 2 배로 減少시키는 것은 重複度를 2로 한 待機리던던시와 같게 되고,  $K=3$ 으로 故障率을 減少시킨 것은 重複度  $m=10$ 으로 한 待機리던던시와 같게 된다.

以上과 같은 事實은 故障 없이 作動되는 平均時間에 의거 2 方法의 效果를 比較하여 볼 때 시스템의 故障率의 減少方法이 待機리던던시의 方

法에 比하여 더욱 效果的임을 나타내고 있다.

왜냐하면 故障率을 2 배以上 減少시킨 것과 같은 信賴性增加의 效果를 얻기 위해서는 重複度가 매우 커져야 하며, 重複度가 이와같이 커지면 시스템의 重量, 부피 및 原價가 增加하기 때문이다.

以上의 2 가지 信賴性增大方法의 比較로 부터 만일 2 方法의 信賴性增大效果를 後者와 같이 故障 없이 作動될 平均時間에 의거 比較하면 最善의 信賴性增大方法은 故障率을 減少시키는 方法이 되고, 만일 前者와 같이 故障確率에 의거 2 方法의 信賴性增大效果를 比較하면 待機리던던시의 方法이 最善의 信賴性增大方法이 된다는 事實을 알 수 있다.

即 信賴性 評價의 基準에 따라 信賴性增大方法의 效果가 달라진다는 것을 알 수 있다.

또한 이와 같은 事實은 信賴性增大를 위한 各方法의 特性을 理解하고, 製造할 시스템의 作動條件을 미리 알고 있으면 이에 따라 適切한 信賴性增大方法을 選定할 수 있다는 事實을 證明하고 있다.

以上의 諸事實로 부터 다음과 같은 重要한 結論을 얻을 수 있다. 即 待機리던던시의 方法은 連續作動時間이 짧은 시스템의 信賴性增大에 效果的인 方法이고, 故障率의 減少方法은 連續作動時間이 긴 시스템의 信賴性增大에 效果的인 方法이다.

그리고  $\lambda_0$ 가 적으면  $G_0(t)$ 는 커지기 때문에 單純한 시스템에 對하여서는 待機리던던시를 使用하는 것이 便利하지만 시스템이 複雜하여 질수록 待機리던던시에 의한 利得은 故障率의 減少와 連續作動時間의 減少에 의하여 얻는 利得보다 적어지기 때문에 複雜한 시스템에 對하여서는 故障率의 減少方法이 더욱 便利하다.

#### 4. 待機리던던시의 方法과 平均修理時間減少方法의 比較

修理時間은 稼動性係數<sup>(3)</sup>나 非稼動性係數<sup>(4)</sup>와 같은 信賴性係數의 母數가 되고 있으나 基本的인 計量的信賴度特性<sup>(5)</sup>에는 包含되지 않기 때문에 修理時間의 減少方法과 待機리던던시의 方法과를 計量的으로 比較하기 위해서는 信賴度

係數밖에 使用할 수가 없다. 따라서 여기서는稼動性係數를 使用하여 2 方法의 效果를 比較하여 보기로 하겠다.

이제 修理時間을 減少시킨 시스템과 待機리던던시가 있는 시스템의 信賴度利得을 稼動性係數에 의거하여 나타내면 (5)式과 같이된다.

$$G_A = \frac{1 + \lambda_0 \frac{\bar{t}_0}{K}}{1 + \lambda_s \bar{t}_s} \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $\lambda_0, \bar{t}_0$  는 각각 待機리던던시가 없는 시스템의 故障率과 平均修理時間이고,  $\lambda_s, \bar{t}_s$  는 待機리던던시가 있는 시스템의 故障率과 平均修理時間이며,  $K$  는 待機리던던시가 없는 시스템의 平均修理時間이 몇배로 減少되었는가를 나타내는 係數이다.

(5)式에서 만일 다음의 (6)式과 같은 條件이 成立되면 信賴度利得은 커짐으로 待機리던던시를 使用하는 것이 效果的임을 알 수 있다.

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_s} > \frac{\bar{t}_s}{\bar{t}_0} K \dots\dots\dots (6)$$

$t$  의 큰 값에 對하여 平均故障率은 故障없이 作動할 平均時間의 逆數인 값으로 接近하기 때문에 (6)式의 左邊은

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_s} = \frac{T_s}{T_0} = G_T$$

가 된다. 卽 故障없이 作動할 平均時間에 依한 信賴度利得  $G_T$  와 같게 된다.

그럼으로 (6)式의 極限條件은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$G_T > \frac{\bar{t}_s}{\bar{t}_0} K \dots\dots\dots (7)$$

(3) 稼動性係數 =  $\frac{\text{(故障없이 作動할 時間)}}{\text{(故障없이 作動할 時間) + (修理時間)}}$

(4) 非稼動性 係數 =  $\frac{\text{(修理時間)}}{\text{(故障없이 作動할 時間) + (修理時間)}}$

(5) 여기서 基本的인 計量的 信賴度 特性이라 함은 시스템의 故障없이 作動할 確率, 故障確率, 故障率, 故障密度數等등을 말함.

그런데 待機리던던시가 있는 시스템의 平均修理時間은 언제나 待機리던던시가 없는 시스템의 平均修理時間보다 크다. 따라서 係數  $K$  의 큰 값에 對하여 (7)式의 條件은 待機리던던시의 重複度가 크고, 待機리던던시가 있는 시스템의 平均修理時間  $\bar{t}_s$  가 重複度の 增加에 따라 시스템의 故障없이 作動되는 平均時間  $t_s$  보다도 적은 比率로 增加하는 條件下에서만 滿足될 수 있다.

이상과 같은 事實로 부터 待機리던던시는 連續作動時間이 짧은 시스템에 對하여 시스템의 稼動性을 增加시키는 最善의 方法이 되고, 平均修理時間의 減少方法은 連續作動時間  $t$  가 큰 시스템에 對하여 더욱 效果的인 方法임을 알 수 있다.

### 5. 故障率減少方法和 平均修理時間減少方法의 比較

信賴性이 指數分布에 따르는 경우 시스템의 稼動性을 나타내는 信賴性係數  $K_A$  는 다음과 같다.

$$K_A = \frac{1}{1 + \lambda_s \bar{t}_r} \dots\dots\dots (8)$$

여기서  $\lambda_s$  는 시스템의 故障率이고  $\bar{t}_r$  은 平均修理時間임.

이 式에서 시스템의 故障率과 修理時間은 積으로 包含되어 있음을 알 수 있다. 이것은 故障率의 減少나 平均修理時間의 減少는 모두가 信賴度係數를 增加시키게 된다는 것을 意味한다.

그러나 이것은 이 2가지의 信賴性增加方法이 同一하다는 것을 意味하는 것은 결코 아니다.

그 理由는 시스템의 故障率은 시스템의 모든 基本的인 計量的 信賴度特性을 決定하지만 平均修理時間은 단지 信賴度係數만을 決定하며, 이것은 故障率을 包含한 基本的인 計量的 信賴度特性에는 아무런 影響을 미치지 않기 때문이다.

故障率의 減少는 시스템의 作動期間中 이의 全

體故障回數를 減少시킴으로서 平均修理時間을 減少시키며, 이에 따른 平均修理時間의 減少는 시스템의 信賴度를 增加시킨다. 그럼으로 故障率과 平均修理時間의 減少는 同一한 係數로서 信賴度係數를 增加시키기는 하지만 信賴度의 側面에서 이들의 效果는 相異하다. 따라서 高信賴度 시스템의 設計時에는 반드시 이러한 重要한 事實을 考慮하는 것이 바람직하다.

6. 連續作動時間의 短縮과 其他方法의 比較

故障率이 係數 K에 의거 減少하는 시스템의 故障없이 作動될 確率은 信賴性이 指數分布에 따를 경우 (9)式과 같이 表現된다.

$$P_s(t) = e^{-\frac{\lambda_0}{K} t} \dots\dots\dots (9)$$

여기서  $\lambda_0$  는 減少되기 前의 시스템의 故障率이고, K는 시스템의 故障率이 몇배로 減少되었는가를 나타내는 係數이다.

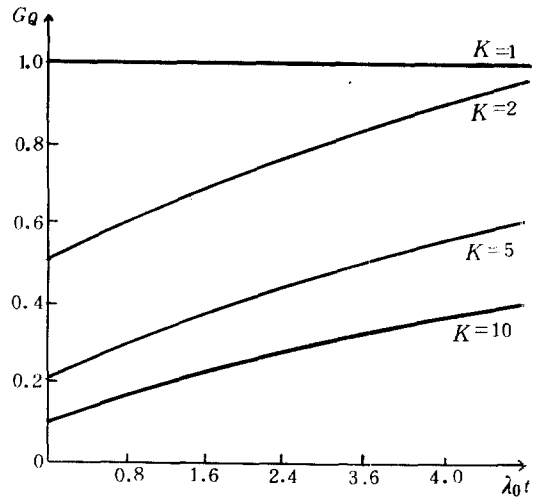
(9)式的 表現에 의거 故障率이 減少되지 않은 시스템에 對한 故障確率에 의한 信賴度利得을 나타내면 (10)式과 같다.

$$G_q(t) = \frac{1 - e^{-\frac{\lambda_0}{K} t}}{1 - e^{-\lambda_0 t}} \dots\dots\dots (10)$$

이제 여러가지의 K의 값에 對하여  $G_q = f(\lambda_0 t)$ 를 計算하고 이것을 圖示하면 (그림 4)와 같이 된다.

(그림 4)와 (10)式에서 알 수 있는 바와 같이 K의 값이 增加하면 시스템의 信賴度는 增加하며, 또한 K의 값이 클수록  $\lambda_0 t$ 의 값이 增加하여도 시스템의 信賴性은 덜 減少된다. 卽 連續作動時間이 길때 故障率의 減少方法은 더욱 效果가 있음을 알 수 있다.

다음으로 連續作動時間의 減少效果를 分析하기 위하여 信賴度가 指數分布에 따른다고 假定하고 作動時間이 係數 K에 의거 減少하는 시스템의 故障없이 作動될 確率을 式으로 나타



(그림 4)  $\lambda_0 t$ 와  $G_q$ 와의 關係

내면 다음과 같다.

$$P_s(t) = e^{-\frac{\lambda_0}{K} t} \dots\dots\dots (11)$$

여기서 K는 시스템의 作動時間이 몇배로 減少되었는가를 나타내는 係數임.

그리고 이 表現에 의거 作動時間이 短縮되지 않은 시스템에 對한 故障確率에 의한 信賴度利得을 나타내면 (12)式과 같이 된다.

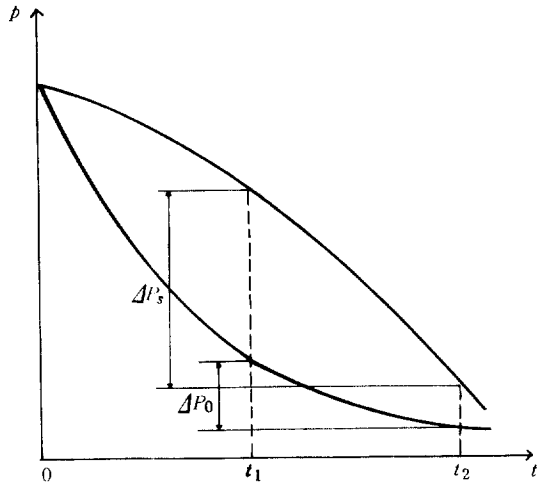
$$G_q(t) = \frac{1 - e^{-\frac{\lambda_0}{K} t}}{1 - e^{-\lambda_0 t}} \dots\dots\dots (12)$$

이제 이式과 앞의 (10)式을 比較하여 보면 2式은 同一함을 알 수 있다. 따라서 連續作動時間의 減少는 故障率의 減少와 同一한 效果를 가진다는 것을 알 수 있다.

(그림 5)는 待機리던던시가 있는 시스템과 待機리던던시가 없는 시스템의 連續作動時間의 減少에 따른 信賴度의 變化를 圖示한 것이다.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 t의 값이  $t_2$ 와 같이 아주 크면 確率  $P(t_2)$ 에는 差異가 거의 없고, 信賴度利得도 매우 적다. 그런데 시

시스템의 連續的인 作動時間을  $t = t_1$ 으로 減少시키면 待機리던던시가 있는 시스템의 故障없이 作動할 確率은 待機리던던시가 없는 시스템의 故障없이 作動할 確率보다 훨씬 크며 信賴度利得도 매우 크다.



[그림 5] 連續作動時間에 따른 信賴度 變化

따라서 待機리던던시가 있는 시스템의 連續的인 作動時間의 減少效果는 待機리던던시가 없는 시스템에 比하여 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

## 7. 結 論

現代의 모든 시스템은 이의 構造가 매우 複雜하고 또한 이의 信賴度要求가 매우 높기 때문에 시스템의 信賴度를 增加시키기 위한 特別한 手段을 講究하지 않고서는 現實的으로 使用可能한 部品을 使用하여 이의 信賴度要求를 充足시키기가 매우 어렵다.

더구나 待機리던던시를 使用하지 않고 複雜한 시스템의 信賴度要求를 充足시킬려면 무려 千萬時間에 達하는 平均作動時間을 가지는 部品이 必要하게 되는데 이러한 部品은 거의 없는 實情이다 (6)

待機리던던시는 短期間의 連續的인 作動을 目的으로 하는 시스템의 信賴度를 增加시키는데 가장 效果的인 方法이다.

그러나 長期間의 連續的인 作動을 目的으로

(6) 參考文獻(6) 및 (8)

하는 시스템의 信賴度를 增加시키기 위한 手段으로서 待機리던던시를 使用하려면 高度의 重複度가 要求된다. 따라서 이것은 重量, 부피 및 原價가 重要한 要素가 되는 시스템에 對한 待機리던던시의 活用을 制限하게 한다.

다시 말하면 待機리던던시를 活用하여 長期間의 連續的인 作動을 必要로 하는 시스템의 信賴度를 增加시키기 위해서는 重量, 부피, 原價 등의 特性을 犧牲하여야 한다.

그런데 故障率의 減少方法은 長期間의 連續的인 作動을 目的으로 하는 시스템의 信賴度를 增加시키는데 매우 效果的이다.

이와 같이 信賴性增加方法의 效果는 만들고자 하는 시스템의 作動條件에 따라 相異하다. 그렇기 때문에 本 論文에서는 信賴性增加를 위한 諸方法의 特性과 效果를 分析比較함으로써 만들고자 하는 시스템의 作動條件에 따라 이에 適切한 信賴性의 增大方法을 賢明하게 選定하여 使用함으로써 시스템의 信賴性을 效果的으로 增加시킬 수 있도록 하였다.

그런데 시스템의 特性에 따라 어느 한가지의 信賴性增大方法이 매우 效果的이라고 하더라도 때로는 한가지의 信賴性增大方法만을 使用하여 高信賴度의 시스템을 만들수가 없다.

따라서 本 論文에서 分析한 信賴性增大의 모든 方法을 適切하게 混合하여 使用하는 것이 重量, 부피, 原價 등의 시스템 特性에 對한 犧牲을 적게 하는 最適시스템의 製造를 可能하게 한다.

## 参 考 文 献

- (1) A.M. Polovko, *Fundamentals of Reliability Theory*, Academic Press, New York, 1968.
- (2) B.V. Gnedenko, Yu. K. Belyayev and A.D. Solovyev, *Mathematical Methods of Reliability Theory*, Academic Press, New York, 1969.
- (3) David K. Lloyd and Myron Lipow, *Reliability: Management, Methods and Mathematics*, Prentice Hall, New Jersey, 1962.
- (4) Igor Bazovsky, *Reliability Theory and Practice*, Prentice Hall, New Jersey, 1961.
- (5) Marvin Zelen ed., *Statistical Theory of Reliability*, The University of Wisconsin Press, Madison, 1963.
- (6) Sousy, C.I., *A Broad Survey of the Military Electronic Equipment Reliability Problem and It's Controlling Factors*, Proceedings of the 1956 Electronic Components Symposium, 1956.
- (7) William H. Von Alven ed., *Reliability Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1964.
- (8) Proceedings of the 5th National Symposium on Reliability and Quality Control in Electronics, 1959.