

期待寿命의 理論에 관련된 寿命要素의 考察 A Study on the Component Life Concepts Related to the Theory of Whole-life Expectancy.

趙 載 堯*

Abstract

Life of a system involves hazards from various sources which, it is believed, can be assessed by means of quite simple expressions. By a suitable combination of these expressions to provide for the relevance of each of the hazards, it is held that a realistic appraisal of the sensitivity of each type failure can be adequately monitored.

This paper accordingly presents the mathematical concepts in relation to each of the hazards and then proceeds to indicate the general relationship which these have to some experiences in life monitoring.

1. 서 론

“시스템의 壽命은 信賴할 수 있는 여러 要因으로부터 항상 危險을 內包하며 또한 아주 간단한 식으로 評價할 수 있다. 이들 要因의 각각의 危險에 대한 適應을 위해 이들 식의 적절한 組合에 의해 信賴性を 正確하게 評價할 수 있는 各 형태의 失敗率에 대한 敏感度의 實際的인 評價는 가능하다. 따라서 失敗가 일어났을 때 그 失敗에 대한 危險確率을 計算하는 方法과 全体壽命에 대한 危險確率과 어떤 관계에 있으며 또한 全体壽命의 評價와 比較方法들을 생각해 보려 한다.

따라서 본 論文은 各 危險에 關하여 數學的인 概念을 나타내고 이들 各 危險이 壽命을 파악하는데 생각해야 할 一般的인 關係를 나타내고자 한다.

2. 初期故障

機械的인 시스템의 加工初期의 故障形態는 (1) 設計의 缺陷 (2) 製造의 缺陷 (3) 設備의 缺陷 (4) 外注

의 缺陷 (5) 加工의 缺陷 등으로 나타난다고 할 수 있다. 이들 各 缺陷을 마멸고장으로 가는 時間的인 確率과 關하여 效果의으로 細分해서 생각하면 그 時間的인 缺陷要素의 效果는 그림1에서 보여준다고 할 수 있다.

設計의 缺陷은 짧은 期間동안 현저하게 상승하고 있으며 대체로 부정확한 設計는 오랜 기간동안 生存이 불가능함을 나타낸다. 따라서 致命的인 設計缺陷은 一定期間동안 높은 失敗確率을 誘發한다.

製造의 缺陷은 부적합한 재료나 부적합한 기술을 통해 얻게되는 缺陷으로 製品에 따라 이들 各各의 危險率은 랜덤하게 변화하는 경향이 있다.

設備의 缺陷은 부적합한 部品設備, 精確한 部品の 부정확한 組立, 중요한 部品の 탈락, 負荷의 부적당한 配分을 통한 기계수명의 감소나 이와 유사한 多數의 直接的인 缺陷 및 잘못된 配置 등으로 다양하게 변화한다.

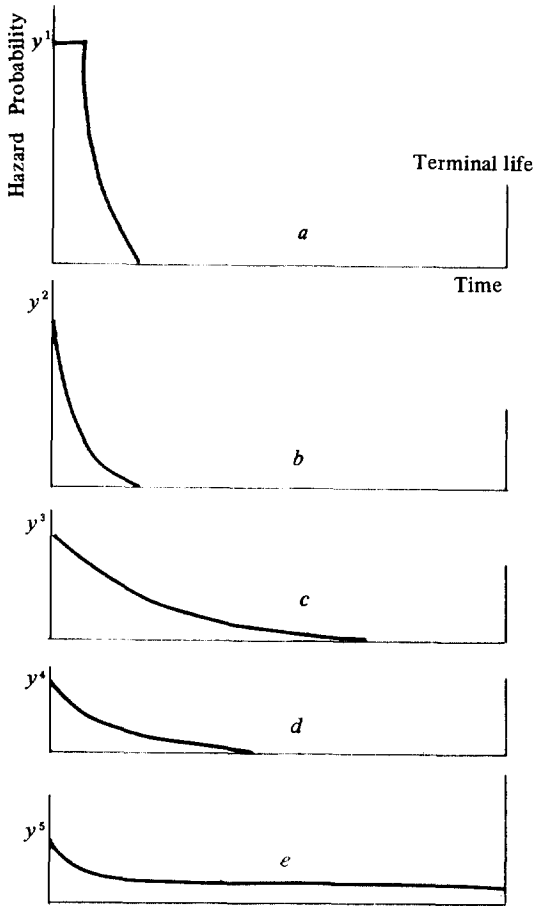


Figure 1. Effect of the Constituent defects on infant mortality failure.

- (a) Design defects (b) Manufacturing defects
- (c) Installation defects (d) Commissioning defects
- (e) Operating defects

外注缺陷은 적은 량의 失敗確率을 갖게되며, 設備缺陷과 같이 效果的인 壽命을 감소시킨다.

加工의 缺陷은 熟練의 영향을 받기 때문에 全体機械壽命을 통해 나타나는 것은 熟練이 平準化되면 거의 水平을 이루게 된다.

이들 缺陷의 累積效果는 機械稼動을 오래동안 하게 되면 失敗確率은 감소하게 된다. 따라서 初期故障 確率은 더욱더 감소하게 되고 그 壽命은 더욱더 연장이 된다. 바로 이 時点에서의 未來壽命에 대

한 豫測은 時間이 흐름에 따라 初期故障의 原因에 대해서는 더욱더 平準化된다. 初期故障에 대한 이 5가지의 가능한 原因을 綜合해서 表現하면 그림 2에서 보여준다.

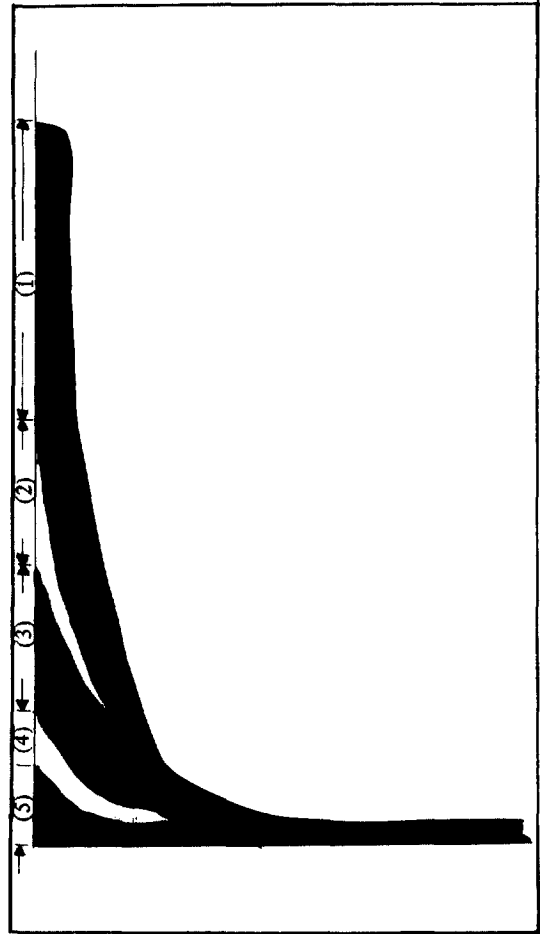


Figure 2. Summation of infant mortality hazard possibilities.

그림 2에서 보는 바와 같이 모든 初期故障의 原因은 사라지지만 加工缺陷으로부터 오는 熟練의 危險은 平準化되어 明確하게 나타난다.

3. 初期故障確率의 数学的期待值

時間에 따라 감소하는 初期故障의 缺陷은 잠재적으로 가능한 缺陷 즉 加工危險이 存在할 때 그 加工危險으로 推測이 가능하다.

時間에 따라 감소하게 되는 逆比例의 關係를 直接 나타내면.

$$y = K_1(t) \dots\dots\dots (1)$$

또한 指數法則을 適用하면

$$y = K_2 + K_3(e^{-Nt}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 y 는 缺陷에 대한 危險確率

t 는 經過時間

K_1, K_2, K_3, M, N 은 常數이다.

이들 法則에 대한 曲線의 比較가 그림 3에 나타나 있다.

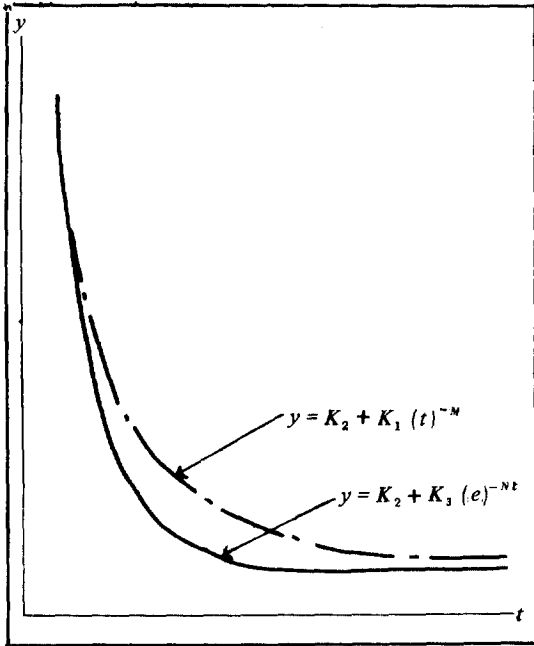


Figure 3. Comparison of Possible mathematical relations.

이 그림 3에서는 많은 曲線중에서 選擇한 것을 提示하고 있다. 이 변화는 逆比例의 法則에 의해 주어진 危險率이 連續的으로 감소되는 것 보다 指數法則에 의해 一定하게 변화하는 것이 훨씬 實際的이며 아주 짧은 期間동안만 관련이 되어있다.

4. 不信任度

最終壽命은 시스템이 意圖했던 대로 使用할 수 있는 機能을 상실했을 때에만 생각해야 한다. 또한 最終壽命은 加工시스템이 그의 機能을 오래동안 維持할 수 없기 때문에 그것이 致命要因으로 劣化되기 쉽다. 이러한 缺陷은 (1) 過多한 負荷로 부터의 構造上의 缺陷 (2) 安全裝置의 不正確 (3) 材料의 힘의 감소 등이며 이들은 서로 밀접한 關係에 있다. 따라서 이

들 故障要因들은 分離해서 생각할 수 있다. 즉 그들이 時間에 따라 增加된다는 特性을 가지고 있으며 그림 4는 바로 이점을 나타내 보인다.

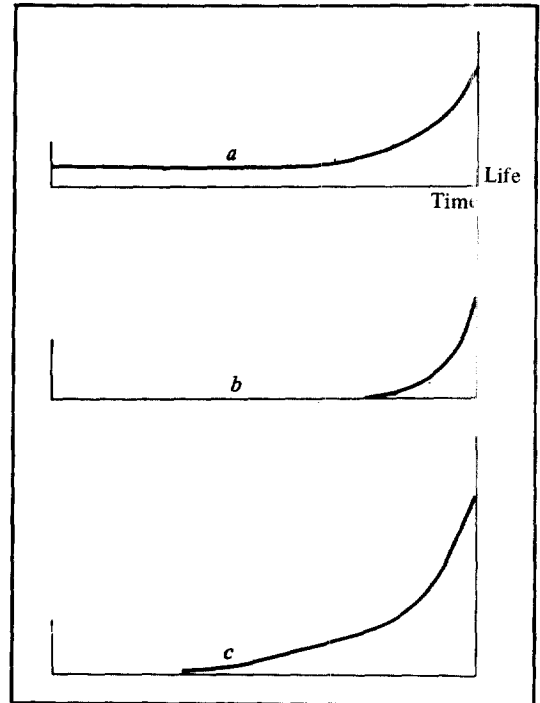


Figure 4. Effect of individual mortality factors

(a) Overload (b) Looseness (c) Metallurgical deterioration.

過負荷는 加工의 잘못으로 야기될 수 있으나 이것으로 인한 故障은 마멸고장 상태로 갈 우려는 없다. 또한 過負荷는 動的負荷가 增加하면 할수록 그에 수반해서 변형은 더욱더 증가하게 되고 動的負荷가 점진적으로 증가하면 변형과 틈새가 증가함을 나타내고 있다. 대체로 設計나 加工의 잘못으로 인한 初期의 틈새는 닳거나, 침식하거나 부식하거나, 변형된 結果로서 增大되는 이들 不信任의 初期의 要素와 같다. 安全裝置의 不正確은 過負荷와 關係가 있으나 침식으로 劣화된 結果로서 時間에 따라 변화하게 된다. 따라서 安全裝置의 不正確은 상당한 時間이 지날때까지 内部施設物의 不正確함으로 나타나지 않으나 그 結果로 일어나는 반응에 민감해야 한다. 運動負荷가 계속 적용되어 힘의 감소가 어떤 야금술의 效果에 기인하거나 반도체의 상호작용에 의해 일어날

수도 있다. 따라서 固定된 缺陷은 대부분 時間에 의 존하게 되고 결국 作動壽命에 따라가게 된다. 이들 要因의 累積效果는 不信賴의 確率에 기인되며 그 增加상태의 特徵은 그림 5에 나타나 있다.

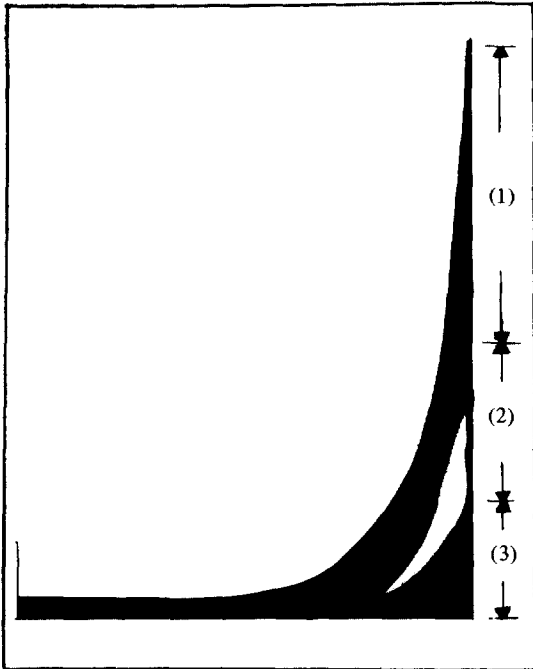


Figure 5. Summation of individual terminal-failure Probabilities.

5. 失敗確率의 数学的 期待值

合理的으로 생각할 수 있는 初期故障으로서 失敗 危險의 展開는 直接 逆數의 方程式으로 나타낼 수 있다.

$$y = K_4 (t_1 - t)^{-p} \dots\dots\dots (3)$$

指數法則에 따라

$$y = K_5 + K_6 (e)^{Q(t-t_1)} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 t_1 은 失敗에 대한 經過時間

K_4, K_5, K_6, P, Q 는 常數

이들 各各의 方程式은 그림 5에서 提示한 故障 確率과 混合된 關係를 나타낸다. 方程式 (3)은 致命 缺陷을 긍정적으로 나타내며 $t = t_1$ 일때 y 의 값은 無限함을 表示한다. 한편 方程式 (4)는 t 의 값에 대해 $K_5 + K_6$ 의 값이 有限으로 주어진다. 이러한 基本原理 때문에 아마도 方程式 (3)을 使用하는 것이 應用 하기가 더욱 좋다. 經過時間 t_1 은 小數의 要因으로

부터 統計的인 데이터의 適用이 가능하다. 正常的인 壽命의 期待值가 시스템의 範圍안에서 올바르게 提供된다면 바로 小數의 要因으로 부터 얻은 統計的인 데이터는 適用 가능하다. 이것은 $t = 0$ 와 $t = t_1$ 사이의 어떤 期間을 意味하며 또한 앞의 理論을 利用하면 어떤 기계나 시스템의 壽命期間동안 탐지된 데이터의 條件에 대해 解析할 수 있는 體系的인 基本方法이 提供되면 된다.

6. 全体壽命에 대한 危險確率

全体壽命確率은 初期故障方程式 (1)을 失敗確率方程式 (3)에 더해주므로 구할 수 있다.

$$y = \frac{K_1}{(t)^M} + \frac{K_4}{(t_1 - t)^P} \dots\dots\dots (5)$$

$$= \frac{r}{(t_1)^M} (x)^{-M} + \frac{1}{(t_1)^P} (1-x)^{-P} \dots\dots\dots (6)$$

이 方程式의 適用結果 변화된 것에 대한 說明은 方程式 (5)로 부터 준비된 그림 6~그림 10까지에 있다.

여기서 $x = t/t_1, t_1 = 1.0, r = k_1/k_4, K_1 = 1$ 이다.

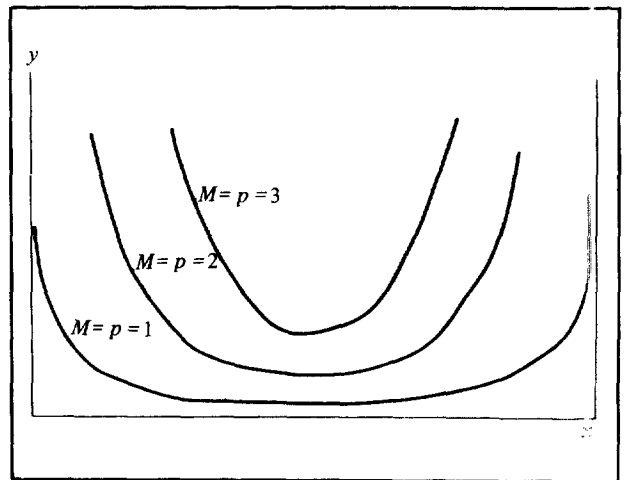


Figure 6. Effect of index on whole-life expectancy trend.

그림 6으로부터 指數의 增加値는 初期故障에 의 한 缺陷要因에 따라 좌우되는 一定한 상태의 中間期間을 감소시키고 있음을 보여주고 있다. $M = P$ 의 期間이 가장 안전한 作動期間으로 $x = 0.5$ 즉 $t = 0.5t_1$ 일 때이다.

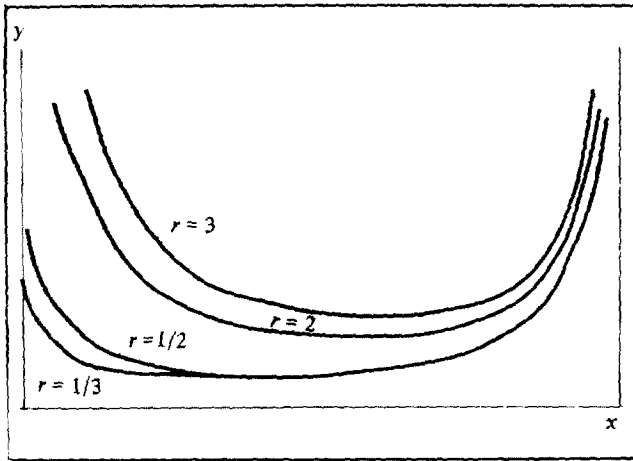


Figure 7. Effect of differing k constants on whole-life expectancy.

그림 7로부터 r의 비를 증가시키는 효과는 $K_1 > K_2$ 일 때 初期故障의 缺陷이 失敗要因을 支配할 때 나타나게 된다. 이때 安全點은 $dy/dx = 0$ 인 점으로 그 曲線의 最小點으로 表 1의 값을 가진다.

Table 1

r	1/3	1/2	1	2	3
x	0.37	0.41	0.5	0.59	0.63

이점의 判定은 故障條件이 危險性을 內包하기 쉬운 때의 基準을 表示하고 있다.

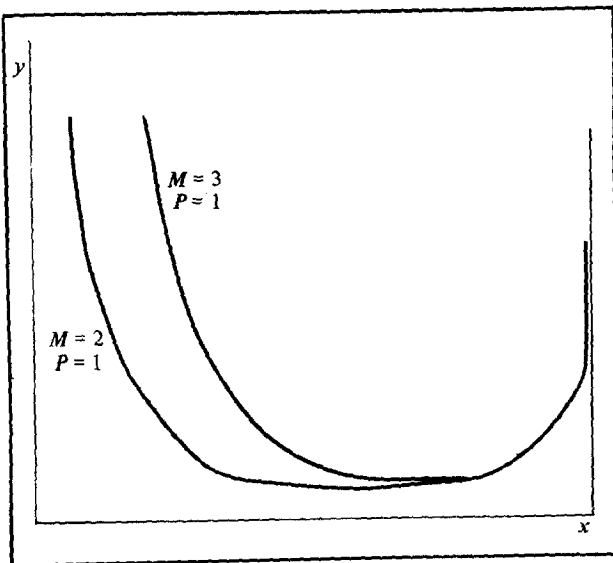


Figure 8. Effect of differing indices on whole-life expectancy

ancy keeping terminal-failure index constant at $P = 1$ and Changing infant-Mortality index M , $r = 1$.

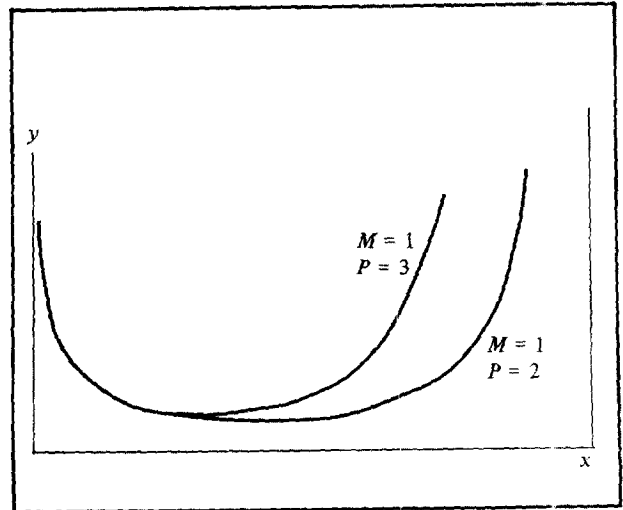


Figure 9. Effect of different indices on Whole-life expectancy keeping infant-mortality index constant at $M = 1$ and changing terminal-failure index.

그림 8과 그림 9는 初期故障이 支配하는 동안 즉 $M > P$ 와 失敗要因이 支配하는 동안 즉 $P > M$ 의 관계를 나타낸다.

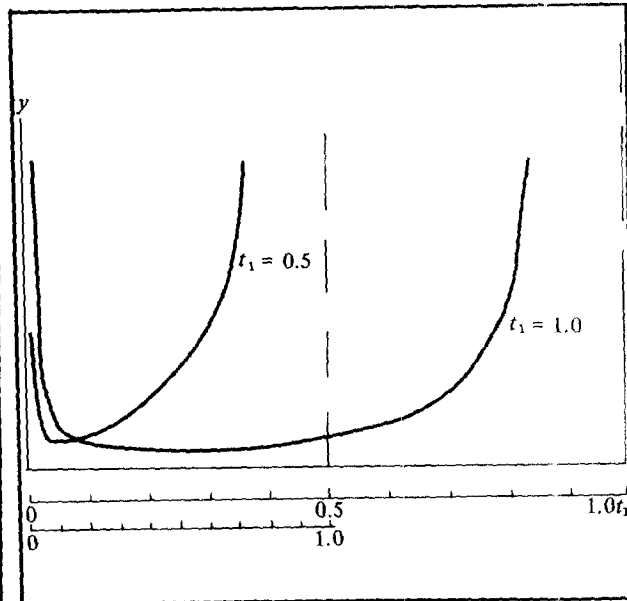


Figure 10. Effect of life length on the failure Probability based on $M = 1$, $P = 2$, and $r = 1/3$.

오랜 壽命의 效果는 그림 10에 나타나며 r, M, P 의 값을 적당히 선택함으로 失敗의 傾向을 改善하여 故障期間을 比較的 짧게 할 수 있다. 어떤 시스템이 아주 짧은 수명 ($t_1=0.5$)일때 失敗確率을 신속히 낮게 바꾸어 安定된 加工期間의 缺陷을 방지할 수 있다.

最小의 確率 $t_1=0.5$ 에 대해서도 $t_1=2$ 에서 보다 더욱 높일수 있다. x 의 값에 대해 失敗確率이 最小로 方程式 (b)에서 다르게 計算될 수 있으며 $r=\frac{1}{3}$ 로 주어지고 $M=1, P=2$ 에 대해서 다음과 같은 方程式을 만들 수 있다.

$$t_1 x^3 - (3t_1 - 6)x^2 + 3t_1 x - t_1 = 0 \dots\dots\dots (7)$$

여기서 表 2의 값을 낼 수 있다.

Table 2

t_1	0.5	1.0	2.0
x	0.21	0.23	0.33

7. 全体 壽命의 解析에 대한 實際的인 危險

實際로 致命缺陷은 (1) 初期設計의 製品과 (2) 品質 管理가 불비한 多量生産 製品에서 자주 일어난다.

이러한 條件下에서는 다음 條件을 應用할 수 있다.

- (a) $r=K_1/K_2$ 의 높은 값을 應用할 수 있다.
- (b) M 의 높은 값을 應用할 수 있다.

壽命의 缺陷은 같은 환경하에서 잘 만들어진 기계, 잘 設計된 加工을 원함으로 最適條件이나 만족할 만한 加工壽命時間은 점차적으로 서서히 저하된다.

이것은 다음과 같은 條件을 포함하고 있다.

(a) r 에 비해 낮은 값 즉 1.0보다 작은 경우, 여기서 $K_2 > K_1$

(b) M 의 값에 비해 더 큰 P 의 값

이러한 條件下에서 r 의 값은 가장 위험하다. P 에 비해 낮은 값은 一定한 加工確率로 가장 오랜 加工 時間을 갖게 된다.

8. 結 論

故障條件과 期待壽命의 關係를 알아내는 방법은 失敗確率을 應用하면 效果的이기 때문에 그 失敗確率이 감소하는 初期故障效果로 처리될 때는 많은 時間(x 의 값)이 필요하다. 따라서 初期故障의 條件은 x 의 값에 따라 많은 危險을 포함하게 되고 그 確率은 最小가 된다.

참고문헌

1. 朴景洙：“信賴度工学”， 탑출판사 pp. 269~274 (1978)
2. 塩見弘：“信賴性工学入門”， 丸善, pp. 40~58 (1967)
3. 塩見弘：“信賴性概念”， 日科技連, pp. 61~70 (1964)
4. Drenick, R.F.: “The Failure Law of Complex Equipment” J. Soc. Ind. Vol. 8, No. 4. pp. 30 - 35 (1960)
5. Shooman, M.L.: “Probabilistic Reliability, An Engineering Approach” McGraw-Hill Book Co., pp. 98-112 (1968)
6. Idem: “Sonic monitoring of bearings subject to failure” Tribology, (1975)