

舶用機關裝置 信賴性에 關한 小考

高 斗 煥*

A Guide Note on the Reliability and Maintainability for Marine Engineering System

D. H. Koh*

전문적인 사항에 대해서는 본고에 기술하지 못하였다.

1. 序 論

船舶이라는 商品은 넓은 의미에서 海運經濟性이 포함된 것으로서 初期의 船價뿐만 아니라 船舶의 特殊性에 符合되는 크기, 重量, 취급운용되는 人力문제, 그리고 취항후 隨伴되는 문제로서 운용 및 정비에 關連되는 裝備機器가 意圖된 用途에 따라 주어진 期間 동안에 만족할 수 있는 稼動상태 즉 성능을 保障할 수 있는 信賴性 등이 고려되어야 할 것으로 안다.

그중 舶用 各裝置와 機器 및 部品の 신뢰성 문제가 크게 대두되 設計時에 이의 適用 및 評價, 故障 및 整備의 豫測等에 많은 발전이 있었으며 특히 미국은 1963년도에 University of Michigan에서 박용기관 의 신뢰성향상을 위한 Symposium이 시작되어 1965년에 미 조선헌회(SNAME)내에 Panel M-22 (Reliability & Maintainability) of Ship's Machinery Committee을 두었으며 이에 關連한 Technical and Research Bulletin이 발간되었고, 가까운 일본도 1975년부터 일본조선헌회에서도 선박의 부품들간의 신뢰도를 조사하여 앞으로 이를 설계에 반영시키려 하고 있다.

그러나 우리는 이 분야에 대해 아직까지도 이론적인 적용기법의 확립은 물론 체계적인 자료수집도 되어 있지 않아 본고에서는 선박의 박용장치에 있어서 신뢰성 공학의 이용방식에 필요한 적절한 자료를 소개하고자 하였다. 특히 개념파악에 중점을 두었으므로 상세하고

2. 信賴性의 尺度

이것을 간단하게 정의하면 어떠한 機器, 部品, 系統 등이 意圖된 用途에 주어진 期間동안 사용되어 充足하게 稼動될 확률을 나타낸 計量的인 尺度를 말한다.

이와같이 數量的으로 論할 경우의 尺度로서 일반적으로 時間함수의 확률로서 사용되며 가장 기본적인 확률로서 信賴度, 整備度, 可用度라 할수 있겠다.

(1) 信賴度(Reliability)

信賴度란 한마디로 말해서 고장이 안 날 확률이고 이것은 機器部品系統 등이 주어진 운용조건하에서 의도하는 사용기간 중 만족스러운 기능을 수행하는 확률을 말한다.

예를 든다면 박용추진기관(propulsion plant)이 주어진 운용조건하에서(해상상태, 온도, 습도, 진동 및 충격 등) 의도하는 사용기간중(예를 들어 1항해 또는 1년간 등) 규정의 기능을 수행하는(예를 들어 主機가 정지 감속고장을 일으키지 않고 가동을 계속할수 있는) 확률이 신뢰도 이다.

즉, 주어진 기간을 견디는 확률이고 장비의 평균수명(MTTF)이 클수록, 고장율이 작을수록 높아진다.

신뢰도는 시간 t 의 확률함수 $R(t)$ 로서 표시하고 그의 시간적 변화는 $t=0$ 에서 정상기능을 나타내는 것 ($R(0)=1$)이지만 시간의 경과와 함께 정상기능을 계속 유지할 수 있는 확률이 低下하고 $t=\infty$ 에서 $R(\infty)=0$ 되는 것과 같이 감소할 수 있다. 그리고 신뢰도와 반대가 되는(즉 고장나기 쉬운)것을 나타내는 확률을 不信度 $E(t)$ 라 하며 $R(t)$ 와의 관계는 서로 補完되는 성

接受日字 : 1981年 8月 10日

* 正會員, 韓國機械研究所 大德船舶分所

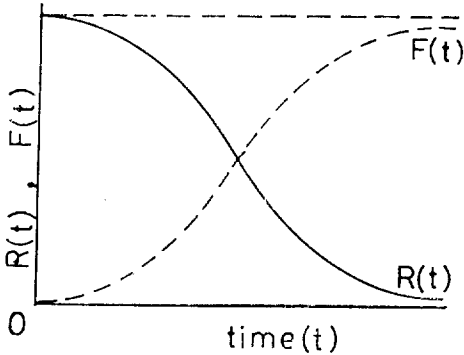


Fig. 1. 信賴度 $R(t)$, 不信度 $F(t)$ 의 時間에 대한 比較圖

질이 있다.

$$R(t) + E(t) = 1 \dots\dots\dots(1)$$

(2) 整備度(Maintainability)

整備度は 修理하기 쉬움을 나타내는 확률로서 修理 가능한 機器部品系統 등이 규정된 조건하에 있어서 정비가 실시될때에 규정된 시간에 정비를 終了하는 확률로 정의한다.

다시말해서 정상적으로 회복할 수 있는 확률이다. 그래서 평균정비소요시간(MTTR)이 작을수록 정비율이 높다고 할 수 있다. 즉 고장이 발생하는 시점으로부터 어떤 규정된 시간(신뢰도의 시간 t 와 구별하기 위해 사용됨, 통상시간 t 에 비하면 훨씬 적다)에 修理가 完了하는 확률이 정비도 $G(\tau)$ 가 되고, 이 정비도는 규정시간에 $\tau=0$ 서 고장상태가 $G(0)=0$ 로 되고 시간 τ 의 경과와 함께 정상기능을 회복하는 확률의 증가가 계속 $\tau=\infty$ 에서 $G(\infty)=1$ 로 되는 증가 함수에 있다.

(3) 可用度(Availability)

修理 가능한 System에 있어서는 「정상작동」→「고장」→「수리」→「정상작동」라고 하는 Cycle이 반복되지만 可用度は 어떤 時點 t 에서 system이 정상적으로 稼動

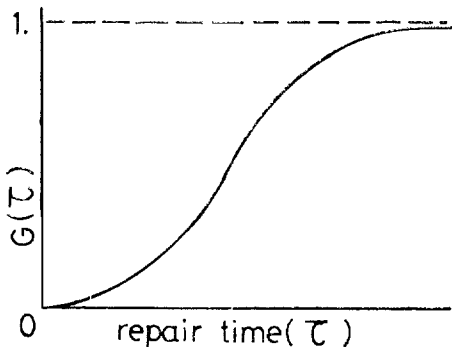


Fig. 2. 整備도와 修理時間의 比

할 확률로서, 말하자면, System이 가동율을 표시한 것이다. 즉 修理 가능한 機器 部品 系統 등이 어떤 특정된 시간에 기능을 계속 유지할 수 있는 확률로 정의된다. 신뢰도 $R(t)$ 가 어느시간 t 까지의 기간중을 통하여 규정된 기능을 수행하는 확률, 다시말해서 고장나지 않을 확률인 것에 대해 可用度 $A(t)$ 는 어느시간 t 에 순간적으로 고장나지 않을 확률을 의미하는 것이므로 t 이전에 고장난 경우가 있다 하더라도 이미 수리가 完了되었다면 좋은 것으로 된 것이다.

可用度も 또한 시간함수의 확률로서 $A(t)$ 로 표시 하지만 일반적으로 이 $A(t)$ 는 순간可用度라고 한다.

순간可用度は 수학적으로 해석되며 定常項과 時間項을 더함으로서 표시된다. 또한 앞서말한바와 같이 ব্যবস্থাকার可用度를 검토할 때처럼 오랜시간에 대해서는 순간可用度の 時間項은 거의 0이 되어 定常項만 남는다.

이와같이 $t \rightarrow \infty$ 될 경우에 可用度 $A(\infty)$ 을 定常可用度라 부르며 일반적으로 이 $A(\infty)$ 가 검토의 대상으로 되는 경우가 많다. 可用度を 向上시키는 때에는 신뢰도를 높이는(고장이 나지 않게 하는 방법과 정비도를 높이는) 방법이 있다. 이중 어느것을 택하든지 또는 양쪽의 Balance을 어떠한 모양으로 하는가는 機能의 역할, 정비조건(人員, 수리부품의 조달 등) Cost 등에 따라 판단 한다.

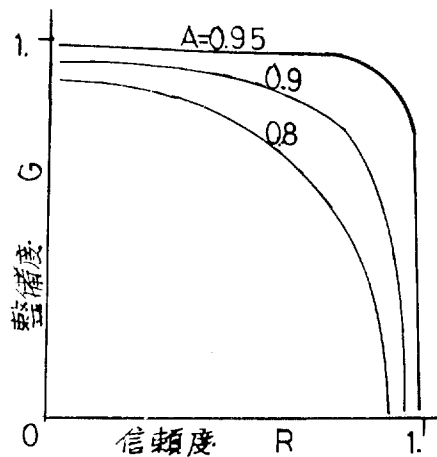


Fig. 3. 信賴度, 整備도와 可用度の 關係

3. 平均時間에 의한 尺度

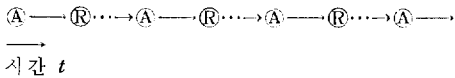
앞서 말한 신뢰도, 정비도 등을 시간의 길이로서 나타내는 방법이 있는데 신뢰도 일경우 無故障時間, 整備도는 修理를 要하는 時間을 나타내는 尺度로서 이러

한 시간을 확률적으로 分布하고 있지만 보통 이의 대 표치로서 平均値를 나타내는 경우가 많다.

(1) 평균고장간격 (Mean Time Between Failures: MTBF)

MTBF는 평균고장간격으로서 수리하고 나서 사용하는 機器部品系統等이 서로 인접된 고장간에 作動시간의 平均値로 정의한다. 즉 아래 그림과 같이 正常動作 (A→), 修理(R→)를 반복 하는 경우, 正常動作時間 A→의 平均이 MTBF가 된다.

여기서 A: Action, R: Reapir



그리고 MTBF와 신뢰도 $R(t)$ 와 관계는 다음과 같은 관계가 있다.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(2)$$

(2) 平均 修理 時間(Mean Time To Repair:MTTR)

MTTR은 平均修理時間으로서 修理하고 나서 使用하는 機器部品系統 등이 서로 인접된 고장간의 수리시간의 平均치를 말한다. 다음의 MTBT을 설명하는 그림에서 보는바와 같이 수리시간 R→의 平均이 MTTR이다. 그리고 MTTR과 정비도 $G(\tau)$ 의 관계는 다음과 같다.

$$MTTR = \int_0^{\infty} (1-G(\tau)) dt \dots\dots\dots(3)$$

可用度는 MTBF, MTTR을 사용하여 아래와 같은

式을 구할 수 있다.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \dots\dots\dots(4)$$

2. 故障率, 故障密度 및 信賴度

2.1. 信賴度와 故障率

實際 주어진 data로 부터 신뢰도를 算定하기 위해서는 신뢰도 $R(t)$ 와 고장밀도함수 $f(t)$ 및 고장율 $\lambda(t)$ 와의 相互關係를 알아둘 필요가 있다.

위의 그림에서 (A)의 곡선은 주어진 Sample중에서 몇 퍼센트가 만족되는가를 말하는 殘存率을 시간 기준에 추정한 것인데 이것은 신뢰도의 함수 $R(t)$ 와 같다.

이것에 대해 (B)의 그림은 시간 t 로부터 $t+dt$ 까지의 고장발생수를 추정한 것인데 이것은 고장밀도 함수 $f(t)$ 와 같다. 즉 고장밀도 함수를 不信度 증가하는 속도, 다시말하자면 신뢰도가 감소하는 속도를 의미하며 다음 관계식으로 표시 할수 있다.

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \dots\dots\dots(5)$$

또한

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(6)$$

이므로 고장밀도함수는 분포함수를 미분하여

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) \dots\dots\dots(7)$$

을 구할수 있다.

이 밖에 실제적인 면에서 자주 사용되는 尺度로서

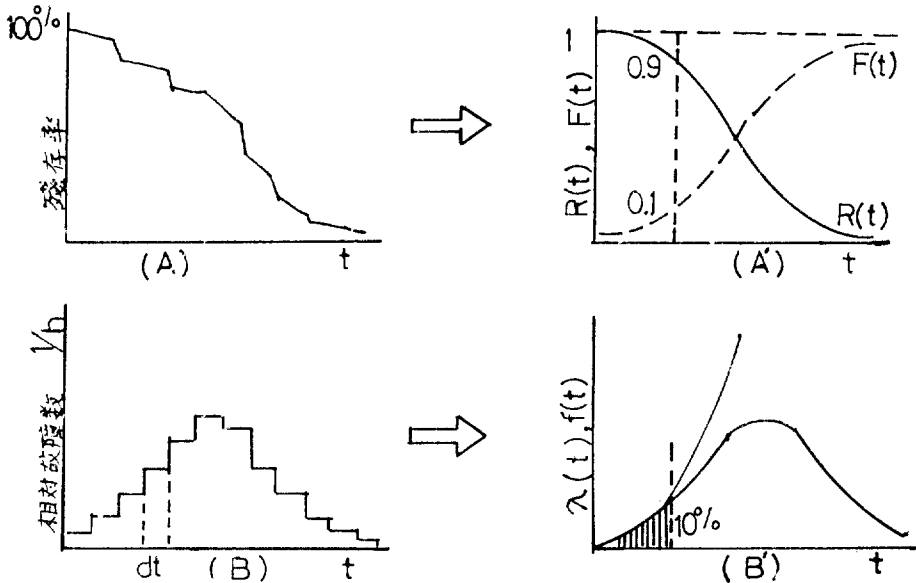


Fig. 4. 故障率 $\lambda(t)$ 故障密度 $f(t)$ 와의 信賴度 $R(t)$ 關係圖

고장을 $\lambda(t)$ 가 있는데 이것은 시간(t)까지 殘存되는 $\bar{R}(t)$ 중 다음의 단위시간 dt 간에 얼마나 고장이 나타나는가를 나타낸 것인데 시시각각으로 $R(t)$ 의 감소율을 추적하는데 편리하다.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{dR(t)}{R(t)} \dots\dots\dots(8)$$

2.2. 故障率의 Patten

고장율의 시간적 변화 (patten)에는 다음 3가지의 형태가 있다.

減少型 : DFR(Decreasing Failure Rate)

一定型 : CFR(Constant Failure Rate)

增加型 : IFR(Increasing Failure Rate)

아래 그림은 전형적인 例로서 유명한 Bath-Tub곡선이다. 이것은 人間の 사망율에 대표될 수 있는 것과 같은 非修理系의 고장율을 나타낸 것이다.

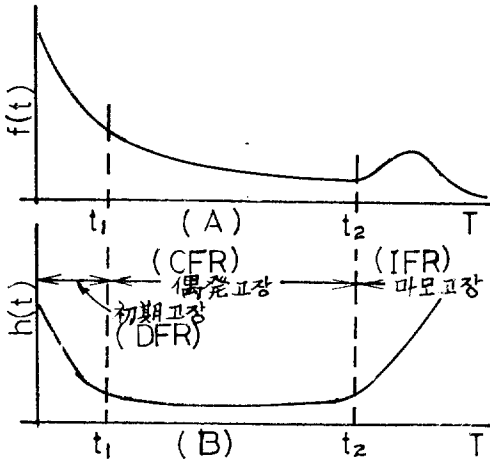


Fig 5. 전형적인故障曲線圖
(A) 故障密度, (B) 故障率

고장율이 一定型 ($\lambda(t)=\lambda$)의 기간에는 신뢰도의 分布는 前述한 $\lambda(t)$ 의 式으로 부터 다음과 같은 指數分布가 된다.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(9)$$

또는

$$MTBF = 1/\lambda \dots\dots\dots(10)$$

로 된다.

이의 기간은 일반적으로 機器部品 系統의 一生동안 대부분 차지하는 것이고 또 수학적 취급이 용이 한데 많은 해석의 전제조건이 되고 있다.

2.3. 整備도와 修理率

정비도의 경우도 $G(\tau)$ 의 微分이 정비밀도 함수 $g(\tau)$ 로 되고 $G(\tau)$ 의 시간적 증가의 속도로 표시한다.

$$g(\tau) = \frac{dG(\tau)}{d\tau}$$

한편 고장율 $\lambda(t)$ 에 대응하는 것으로서 修理率 $\mu(\tau)$ 이 있는데 그것은 時間 τ 까지에 修理가 단위시간 $d\tau$ 의 어느정도로 수리가 完了되는가를 나타내는 것이다.

$$\mu(\tau) = \frac{g(\tau)}{1-G(\tau)} = \frac{dG(\tau)}{1-G(\tau)} \dots\dots\dots(11)$$

또한 많은 경우 修理率은 一定($\mu(\tau)=\mu$)한 것으로서 취급되고 시간에 대한 정비도는 다음과 같이 指數分布로 된다.

$$G(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau} \dots\dots\dots(12)$$

또는

$$MTTR = 1/\mu \dots\dots\dots(13)$$

로 된다.

이와 같이 상술한 신뢰도와 정비도의 관계되는 식을 정리하면 다음과 같다.

	信 賴 度 $R(t)$	整 備 度 $G(\tau)$
밀도함수	$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$	$g(\tau) = \frac{dG(\tau)}{d\tau}$
率	고장율 $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	修理率 $\mu(\tau) = \frac{g(\tau)}{1-G(\tau)}$
指數分布	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$G(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau}$
平均時間	$MTBF = \frac{1}{\lambda}$	$MTTR = \frac{1}{\mu}$

지금 可用도에 λ, μ 을 이용한 式을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \dots\dots\dots(14)$$

4. 確率分布

신뢰성의 평가에 대해서는 故障數, 故障時間, 修理時間 等 많은 항목에 대해 각각 확률분포를 파악하지 않으면 안된다. 대부분의 경우에는 실제 data의 分布 곡선에 대해 이미 알고 있는 理論的 分布함수에 적용하고 이의 分布함수에 규정한다. parameter나 편차를 알고 그의 parameter에 따라서 신뢰성의 해석을 定量的으로 발전시키는 방법을 취한다.

이와 같은 목적에 사용하는 理論分布로서는 다음과 같은 것들이 있다.

二項分布(Binomial distribution)

正規分布(normal distribution)

- 對數正規分布(lognormal distribution)
- 指數分布(exponential distribution)
- Gamma分布(Gamma distribution)
- 多項分布(multinomial distribution)
- Beta分布(Beta distribution)
- Weibull分布(Weibull distribution)
- 極值分布
- 기타

5. 重復性(Redundancy)

重復方式은 똑같은 機能이 얼마나 지속하는가에 예 비수단을 사용하여 신뢰성을 높이는 방법이라 할수 있고, 並列구조, 待機重復구조, n 中 k 의구조, 等等 종류가 있다.

(1) 直列구조(series structure)

신뢰도 분석에서 가장 간단한 신뢰도구조이며 이는 system이 가동하기 위해서는 모든 부품이 다 정상가동하여야 한다. 즉 하나만 고장나면 전체 system이 고장남으로 이는 重復性이 排除된 구조이다.

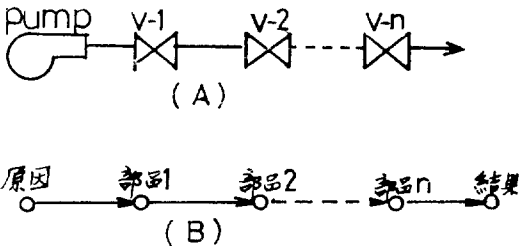


Fig. 6. 直列信賴度구조
(A) 신뢰도구조, (B) Block Diagram.

(2) 並列구조(parallel structure)

단일요소로도 충분한 기능을 다른 요소로 추가 변경시켜 그 기능을 수행시키는 구조를 말한다.

예를 들면 Fig. 7과 같이 pipe valve로 유체를 유출시키기 위해서 valve 1개로도 충분한 것을 안전하게 하기 위해서 다른 valve를 추가로 두는것을 並列 重復구조라 한다.

(3) 待機 重復구조(standby structure)

並列구조는 처음부터 重復에 대한 요소가 연결되어 있지만 重復부분은 인제나 작동하고 있는것은 아니다. 그래서 重復要素를 待機하도록 하고 가동중에 요소가 고장이 났을때 지절히 대체하는 방법이 待機重復구조이다.

그러나 적절한 대체요소 (예 Switch)의 신뢰도가 낮으면 並列系보다도 신뢰도가 낮을 경우도 있으므로 주의하여야 한다.

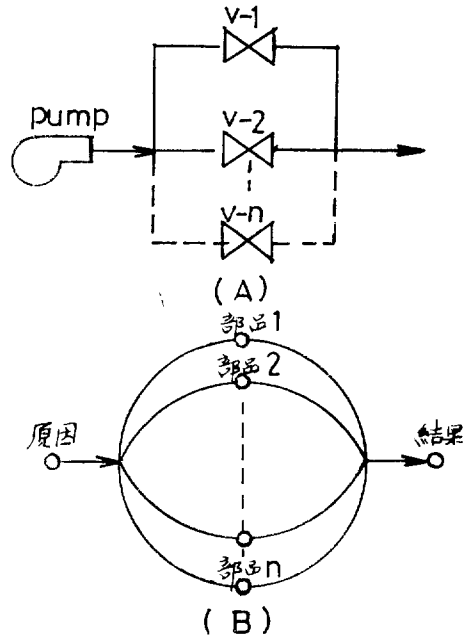


Fig. 7. 並列信賴度구조
(A) 信賴度구조, (B) Block Diagram.

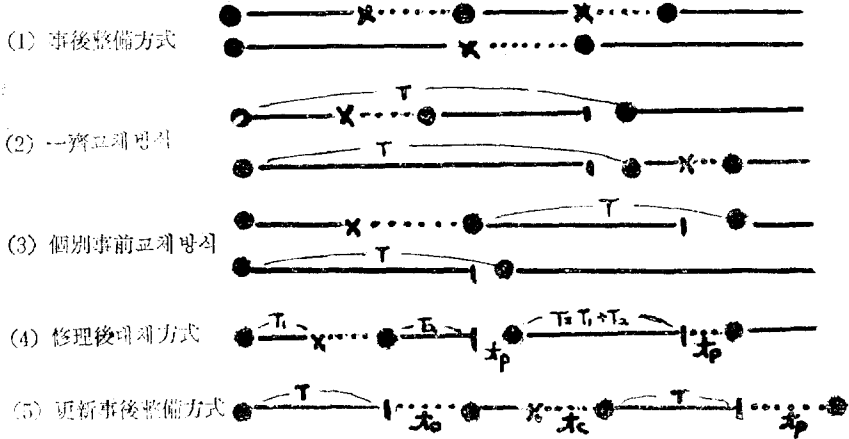
(4) n 中 k 구조(k out of n)

n 개의 요소중에 k 개가 정상으로 있다면 구조로서는 정상으로 보는 특수한 重復구조가 있다. 예를 들면 100개의 요소중에 10개까지 고장이 되어 사용치 못해도 그기능은 90 out of 100의 重復구조로 생각한다.

6. 整備方式

整備는 크게 나누어 고장이 발생한 후에 수리하는 事後정비(CM; Corrective Maintenance)와 고장발생 이전에 계획적인 점검, 교체하는 행위를 豫備정비(P.M. Preventive Maintenance)의 2가지로 분류된다.

偶發고장시기에 고장에 대해서는 事後정비가 많다고 생각되지만, 선박에 있어서는 승조원의 일정한 시간에 점검 작업을 하는 것은 예방정비의 일종이라 하겠으며 또 선급협회의 점검도 예방정비로 여기진다. 예방정비에서는 그밖에 定期的으로 부품을 일제히 교환하는 것도 포함된다. 부품을 일제히 교환하는 예방정비에 비해 사후정비 방식은 유지 경비가 적겠지만 우발적인 사고가 발생할 경우 손해를 생각하면 어느것이 유리한가는 속단할 수 없다. 최근의 한예로 Monitor Maintenance에 고장발생을 예측하고 고장발생 이전에 부품일절을 교체하는 식의 예방정비를 한 결과 경비절감효과를 보았다고 한다.



7. 信賴性과 經濟性

신뢰성을 높이기 위해서는 경비가 든다. 그래서 신뢰성을 높이기 위해서는 투자한 비용과 不信賴에 의한 손해 및 운영비의 Balance을 생각하고 최적한 신뢰성을 찾기 위해서 cost有効性(cost effectiveness), 다시 말해서 cost에 棼의 system 有効性을 最大로 고려한 방법이 있다.

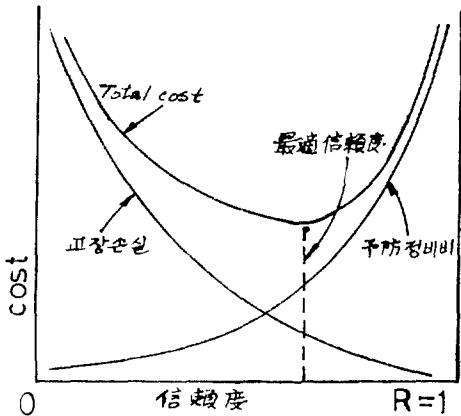


Fig. 8. 信賴도와 最適 cost.

8. 맺 는 말

이상과 같이 박용기관장치의 棼關하여 신뢰성공학에 대한 개념파악을 중심으로 미약하나마 이를 정리하였으나 앞으로 좀 더 깊이있고 세부적인 기법을 적용하는 방법이 정립되어야 할 것이며 또한 실제 운항에 있어서 일어나는 문제점을 분석 자료화 하여 이를 정리하여 선박에 대한 신뢰성 평가를 할수 있는 기틀이 조성

및 棼關업계, 해운업계, 연구소, 학계 등에서 공동으로 마련되기를 바란다.

參 考 文 獻

- [1] 林景洙; “信賴度工學 및 整備理論”, 탐출원사, 서울(1978).
- [2] R.L. Hamilton; “Ship Propulsion Machinery Reliability and Availability Analysis”, 1968 Annual Symposium on Reliability, Jan. 1968.
- [3] E.R. Quandt; “Developments in Machinery Reliability at the Marine Engineering Laboratory”, 1967. Annual Symposium on Reliability, Jan. 1967.
- [4] G.L. Stiehl, C.S. Thomas, J.H. Facey; “Shipboard Reliability-A Design Program”, 1967. Annual Symposium Reliability, Jan. 1967.
- [5] Igor Bazovsky, Glen E. Benz; “Effectiveness of Ship System and Machinery”, 1968 Annual Symposium on Reliability, Jan. 1968.
- [6] P.J. Giordano, J. Sacks; “Reliability and Maintainability Consideration for total Ship System”, 1968 Annual Symposium on Reliability, Jan. 1968.
- [7] Technical and Research Bulletin No. 3-22.; “Reliability and Maintainability Engineering in the Marine Industry”, SNAME, July 1971.
- [8] Jack W. Abbott; “Integration of Modern Machinery Systems”, Naval Engineering Journal. June 1973.
- [9] H.C. Wilkinson, D.F. Kilborn; “The Design of Ship’s Machinery Installations with Particular

- Reference to Reliability”, Maintenance and cost. B.S.R.A. 1971.
- [10] D. Kilborn; “An Introduction to the Use of Reliability Analysis in Ship’s Engineering System”, B.S.R.A Report NS 293, 1970.
- [11] Dimitri Kececioglu; “Mechanical Reliability and Probability Design for Reliability”, The George Washington University, 1978.
- [12] “Proceedings of Conference on Advanced Marine Engineering Concepts for Increased Reliability”, University of Michigan, Feb. 1963.
- [13] T.T. Furman; “Approximate Methods in Engineering Design”, Academic Press, 1981.
- [14] Erwin Kreyszig; “Introductory Mathematical Statistics”.
- [15] 青木雄二郎・長棟宣生・草野忠夫・中鳥修一; “機關部信賴性評價について”, 日本船用機關學會誌 第15卷 第4號. 昭和55年 4月.
- [16] 吳世一; “船舶機資材의 品質과 信賴性”, 海洋韓國, 1981年 8月, 9月號.
- [17] Statistical data on Failures of Steering System, Propulsion Plant and/or Electrical Plant and Reliability and Duplication of Ship Components, Sub-Committee on Ship Design and Equipment. IMCO, 24th Session October 1981.
- [18] “Reliability and Availability”, D.N.V. Rules for the Construction and Classification of Steel Ships. CHAPTER III, Sec. 3 1977.

과학으로 싸우자 기술로 건설하자

科學技術人의 信條

우리 科學技術人은 科學技術의 暢達과 振興을 通하여 國家發展과 人類福祉社會가 이룩될 수 있음을 確信하고 다음과 같이 다짐한다.

- 一. 우리는 創造의 精神으로 眞理를 探究하고 技術을 革新함으로써 國家發展에 積極 寄與한다.
- 一. 우리는 奉仕하는 姿勢로 科學技術 振興의 風土를 造成함으로써 온 國民의 科學的 精神을 振作한다.
- 一. 우리는 높은 理想을 指向하여 自我를 確立하고 相互 協力함으로써 우리의 社會的 地位와 權益을 伸長한다.
- 一. 우리는 人間의 尊嚴性이 崇尚되고 그 價値가 保障되는 福祉社會의 具現에 獻身한다.
- 一. 우리는 科學技術을 善用함으로써 人類의 繁榮과 世界의 平和에 貢獻한다.