

# 시스템 有効性의 尺度

## Measures of System Effectiveness

李 昶 勳\*

### 1. 시스템 有効性(System Effectiveness)

일반적으로 시스템이란 서로 관련되는 個體(entity)들로 이루어지는 集合體(collection)를 의미한다. 各 個體는 다시 어떤 屬性(attribute)들로 특정지워지고 여기서 屬性들은 서로 연관성을 가질 수 있다. 예를 들면 자동차와 자동차 주인은 하나의 시스템을 형성한다고 생각할 수 있다. 그러면 이 시스템은 자동차라는 個體와 자동차 주인이라는 個體를 갖고 있는 것이 된다. 자동차라는 個體는 자동차 종류와 자동차 값이라는 屬性을 가질 수 있겠고 자동차 주인이라는 個體가 가질 수 있는 屬性으로는 주인의 나이와 수입을 들 수 있겠다. 여기서 자동차 값이라는 屬性은 자동차 종류라는 屬性에 관계되고, 나아가서 주인의 수입이라는 屬性에 관계됨을 볼 수 있다. 수입이 많은 사람은 고급자동차를 원하게 되겠고 고급자동차의 값은 비싸게 되겠다. 이와같이 屬性들 간의 관계를 이야기할 때 자동차 값은 자동차 종류의 函數라 말하고, 다시 자동차 종류는 주인의 수입의 函數라 말한다. 위와 같이 시스템을 定義해 보면 우리 주위에 수많은 시스템을 생각해 볼 수 있다. 하나의 기계 하나의 무기도 각각 시스템이 되겠고 병원, 소방서 같은 것도 각각 하나의 시스템으로 생각할 수 있다. 사실 이 세상에 시스템 아닌 것이 없다고 말해도 과언이 아니다.

이러한 갖가지 시스템은 어떤 의도된 기능을 수행해 나가게 되는데, 이런 기능이 때때로 任務(mission)라 불려진다. 그리고, 시스템이 주어진 任務를 완수할 수 있는 전반적인 능력을 나타내 주는데, 시스템 有効성(system effectiveness)이란 用語를 쓴다. 시스템이 有効하다는 말은 시스템이 주어진 任務를 잘 수행해 나갈 수 있다는 말이 된다. 반대로 시스템이 有効하지 않다는 말은 시스템이 任務를 수행해 나가는데 지장을 받고 있다는 이야기가 된다. 이런 경우에는 지장을 초래하는 시스템의 屬性을 찾아내어 이런 屬性에 우리의 주의를 기울일 필요가 있다. 우리가 시스템 분석을 행하는 이유는 시스템 狀態에 대한 변화가 어떻게 일어나나 이해하고, 이런 변화를 예측하여, 이런 변화를 조정해 줌으로써, 궁극적으로는 시스템의 有効성을 향상시켜 보자는 데 있다. 그러기 위해서 선행되어야 할 것은 주어진 시스템에 대한 有効성의 尺度(measure)로 어떤 것을 사용하는 것이 가장 적합한지를 결정하는 것이 되겠다. 이것은 시스템의 任務가 어떤 것인지, 시스템의 원래 의도된 사용목적이 어떤 것인지를 신중히 고려한 후 결정해 줘야 되겠다. 그러면 흔히 쓰이는 시스템의 有効성의 尺度는 어떤 것이 있으며 이들은 각각 어떤 경우에 적합한지를 다음에 살펴 보기로 하겠다.

### 2. 信 賴 性(Reliability)

시스템의 有効성의 尺度로 가장 많이 쓰여진 것이 信賴性이다. 信賴性은 시스템이 일정

\* 서울大學校 工科大學 産業工學科

가장동안 고장나지 않고 만족스럽게 작동할 수 있는 확률로 정의된다. 흔히들 信賴性을 시스템의 有効性과 같은 뜻으로 사용하는 경우가 많으나, 엄격히 구분하면 信賴性은 시스템의 有効性을 나타내 주는 하나의 尺度에 불과하다.

信賴性의 문제는 현대 기술의 복잡함과 자동화에 기인된 것으로, 특히 2次대전 중에 사용된 군장비의 고장문제가 심각해짐에 따라 등장하게 된 비교적 새로운 분야의 학문이다. 1945년에서 1950년 사이에 발표된 연구결과를 보면 해군의 경우 기동중에 전자장비가 작동 가능했던 시간은 전 기동시간 중의 30%에 불과했다는 것을 알려주고 있다. 美國 육군의 경우, 그들이 보유하고 있던 장비 중에 2/3에서 3/4에 해당하는 장비가 수리중이었거나 제대로 쓸 수 없었다는 것을 알려주고 있다. 美國의 공군의 경우를 보면, 그들이 5年동안 장비를 수리하고 유지하는데 든 비용이 원래 장비의 가격보다 10배나 더 든 것을 보여준다. 이러한 이유에서 군장비의 고장을 감소시키려는 노력이 일게 되었으며 이때부터 信賴性工學이란 말이 쓰이기 시작했다.

시스템의 信賴性에 영향을 미치는 要因으로서 원료와 部品の 品質, 시스템의 논리적인 設計, 시스템의 生産과정과 品質管理, 시스템 사용자의 기술등 시스템을 개발하는 단계에서 사용단계에 이르기 까지 광범위한 과정이 포함된다. 그러나 시스템 엔지니어가 특히 관심 두는 분야는 시스템의 信賴性 분석을 통하여 시스템 設計를 最適化하는 것이 되겠다. 시스템의 신뢰성 분석을 행하는데 논리적인 접근 방법은 우선 시스템을 부대시스템(subsystem) 또는 단위부품(component)으로 나누어 이들 단위부품이 기능적으로 서로 어떤 관계를 갖는지 고찰하는 것이다. 다음에 이 단위부품들은 블록도표(block-diagram)의 형태로 연결시켜 시스템을 나타내준다. 그러면 이 도표로부터 우리가 알 수 있는 것은 시스템이 작동하기 위하여 단위부품들이 기능적으로 어떤 관계를 가지고 어떤 식으로 연결되는지 이다. 시스템의 작동을 記述해 주는 이 도표에 의하

여 시스템의 신뢰성 모델(model)을 만들 수 있고, 나아가서 시스템의 信賴性을 각 단위부품의 신뢰성을 이용하여 계산할 수 있다. 이런 식으로 신뢰성 분석을 해 나가기 위하여 우선 우리가 알아야 할 것은 각 단위부품의 고장과정(failure process)이 통계적으로 어떤 식을 따르는가이다. 이것은 단위부품의 신뢰성을 구하는데 필수적인 정보가 된다. 또 한 가지 우리가 알아야 할 것은 단위부품들이 기능적으로 어떻게 연결되어 시스템의 형태(system configuration)를 이루고 있는가이다. 이 정보는 앞에서 구한 단위부품의 신뢰성을 이용하여 시스템의 신뢰성을 계산할 때 요구된다.

일반적으로 단위부품의 고장과정은 고장시간(failure time)에 대한 확률밀도함수(probability density function, pdf)로 표시된다. 통계적인 고장시간분포(failure time distribution)를 구하기 위하여는 단위부품에 일어나는 고장을 관찰하여 여기서 얻은 데이터(data)에 맞는 분포를 찾을 수가 있다. 이것이 불가능한 경우에는 우리가 가지고 있는 단위부품에 대한 고장 메카니즘(mechanism)에 대한 경험에 의하여 가장 알맞다고 생각되는 분포를 골라 쓸 수도 있다. 일반적으로 단위부품  $i$ 의 고장시간분포를  $f_i(t)$ 라 표시하고 이 단위부품의 신뢰성을  $R_i(t)$ 라 표시해 주면, 신뢰성의 정의에 의하여

$$R_i(t) = \int_t^{\infty} f_i(x) dx \quad \text{式 (1)}$$

式(1)이 나타내 주는 것은 단위부품  $i$ 가 적어도 시간  $t$ 까지 고장나지 않고 작동할 확률을 나타내 주는 것으로 이것이 곧 부품  $i$ 의 신뢰성이 된다. 신뢰성과 관계되는 중요한 parameter로 故障率(failure rate)과 MTTF(mean time to failure)가 있다. 부품  $i$ 의 고장율과 MTTF를 각각  $r_i(t)$ ,  $(MTTF)_i$ 라 표시하면 이들은 다음 식으로부터 얻어진다.

$$r_i(t) = f_i(t) / R_i(t) \quad \text{式 (2)}$$

$$(MTTF)_i = \int_0^{\infty} t f_i(t) dt = \int_0^{\infty} R_i(t) dt \quad \text{式 (3)}$$

여기서 고장율  $r_i(t)$ 는 부품  $i$ 가 시간  $t$  전까지 제대로 작동하다가 시간  $t$ 에 고장날 조건

부 확률을 나타내주고 (MTTF)<sub>i</sub>는 부품 *i*가 고장나기 전까지 작동할 수 있는 평균시간을 나타내 준다.

고장시간을 나타내 주는 분포는 많이 쓰이는 것으로 지수(exponential), 일랑(Erlang), 와이블(Weibull), 감마(Gamma), 로일리(Rayleigh), 정규(normal) 분포 등이 있으나 지금까지 신뢰성 분야에서 가장 자주 쓰여온 분포는 역시 지수분포이다. 지수분포는 특히 전자 부품의 고장시간을 기술해 주는데 가장 적합한 분포로 알려져 있다. 그리고 미국의 모든 군사표준(military standards)도 고장시간이 지수분포를 따른다는데 기초를 두고 있다. 또한 90%에 해당하는 미국의 군사용 시스템의 신뢰성 계산이 이 분포에 기초를 두고 있다. 실제로 단위부품의 고장시간이 지수분포를 따르지 않는 경우에도 이 분포를 따르는 것으로 가정하여 신뢰성 분석을 해버리는 경우가 때때로 있다. 왜냐하면 고정시간이 지수분포를 따르게 되면 신뢰성 분석이 수학적인 관점에서 매우 용이해 지기 때문이다. 만약 부품 *i*의 고장분포,  $f_i(t)$ 가 다음과 같이 지수분포를 따르는 경우를 생각해 보자.

$$f_i(t) = \lambda_i \exp(-\lambda_i t) \quad \text{式(4)}$$

이 경우  $\lambda_i$ 는 故障率을 나타내며 常數이다. 式(2)를 이용하여  $r_i(t)$ 를 구해보면

$$r_i(t) = \lambda_i \quad \text{式(5)}$$

로 常數가 됨을 알 수 있고, 式(3)을 이용하여 (MTTF)<sub>i</sub>를 구해보면

$$(MTTF)_i = 1/\lambda_i \quad \text{式(6)}$$

로 고장율의 역수로 표시됨을 알 수 있다.

일단 단위부품의 고장시간분포를 알면 단위부품의 신뢰성을 구하는 문제는 간단해진다. 다음 단계는 이렇게 구한 단위부품의 신뢰성을 이용하여 시스템의 신뢰성을 구하는 문제이다.

여기서는 단위부품을 기능적으로 연결시켜 놓은 시스템의 브럭도표(block diagram)가 어떤 형태로 표시되느냐에 따라 시스템의 신뢰성이 비교적 쉽게 구해될 수도 있고 아니면 어렵게 구해될 수도 있다.

몇가지 대표적인 시스템의 형태(system co-

nfiguration)를 보면 다음과 같다. 가장 간단한 시스템의 형태는 시스템이 단위부품 하나로 이루어지는 경우가 된다. 다음에는 단위부품들이 直列(series)로 연결되는 시스템의 형태를 생각할 수 있다. 이 경우에는 단위부품 전부가 고장없이 작동해야 시스템의 작동이 가능해진다. 만약에 直列시스템이 *n*개의 단위부품으로 이뤄지고 각 부품의 신뢰성을 앞서서와 같이  $R_i$ 로 표시해 주면, 이 시스템의 신뢰성  $R$ 은 다음 식으로 부터 구해진다.

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad \text{式(7)}$$

다른 대표적인 시스템의 형태로 並列(parallel) 시스템을 생각할 수 있다. 이 시스템을 餘分(redundant)시스템이라 불리기도 한다. 만약 並列시스템이 *n*개의 단위부품으로 이뤄지는 경우 이 시스템이 작동하기 위하여는 *n*개의 부품이 전부 고장나지 않고 이 중에 적어도 한 부품만 작동해 주면 된다. 그래서 이 경우 시스템의 신뢰성은 다음 式으로 부터 구해진다.

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad \text{式(8)}$$

보통 並列시스템에서는 시스템이 작동을 시작하면 *n*개의 부품이 같이 작동하기 시작하여 고장날 때까지 계속 작동하고 *n*개 중에 하나라도 작동해 주면 시스템은 제대로 작동하는 것으로 여겨진다. 만약에 並列에서 시스템의 작동을 위하여 필요로 하는 작동 가능한 부품의 수가 하나보다 많고 *n*보다 적은 경우, 우리는 이런 並列시스템은 部分並列시스템(partial redundant system)이라 불려준다. 並列시스템에서 부품 하나만 작동하고 나머지 부품들은 기다리고 있다가 작동하던 부품이 고장나면 기다리고 있던 부품이 연결되어 시스템의 작동을 지속시켜 주는 형태의 並列시스템을 standby시스템이라 한다. 이 외에도 直列과 並列이 혼합된 형태의 시스템을 생각해 줄 수 있고 이런 경우에도 시스템의 신뢰성은 비교적 용이하게 구해될 수 있다. 非直並列(non-series-parallel)시스템의 경우에도 신뢰성은 어렵지 않게 구해될 수 있으나 계산이 조금 복잡해진다. 이런 경우에 쓸 수 있는 방법으로

는 cut-set 또는 tie-set 방법, event-space법, Path-tracing法, keystone方法[3] 등이 있다.

시스템이 일정한 기간동안 고장나지 않고 작동하는 것이 우리의 주요 관심사라면 지금까지 말한 信賴性을 시스템의 有効性的 尺度로 사용하는 것이 바람직하다. 하지만 경우에 따라서는 시스템이 고장나더라도 짧은 시간안에 수리해 주어 시스템의 유효성을 지속시켜 줄 수도 있겠다. 이와 같이 고장에 대해 수리까지 고려해 줄 때 시스템의 有効性的 尺度로 信賴性은 완전한 것이 되지 못한다. 이런 경우에는 信賴性과 補修性(maintainability)을 함께 고려해 주는 可用性(availability)이 더 바람직한 시스템 有用性的 尺度로 등장하게 된다.

### 3. 補保性(maintainability)과 可用性(availability).

補修性은 고장난 시스템이 일정한 시간안에 수리될 수 있는 확률로 정의된다. 우리는 보수성 분석을 통하여 고장난 시스템을 어떻게 하면 짧은 시간안에 최소의 비용으로 수리해 줄 수 있나 알고져 한다. 그래서 수리가 가능한 시스템을 설계할 때 우리는 신뢰성 분석 결과와 보수성 분석 결과를 함께 시스템 설계에 반영시키는 것이 바람직하다. 이 경우 우리는 시스템의 신뢰성을 높일 수 있는 방향으로 시스템을 설계하는 동시에 고장이 나는 경우 고장을 짧은 시간안에 최소의 비용으로 수리할 수 있도록 설계하는 것이다. 이 말은 결과적으로 시스템의 가용성을 향상시키는 방향으로 설계를 한다는 이야기가 된다. 우리가 신뢰성을 고려할 때는 시스템이 고장나지 않고 작동할 수 있는 확률이 우리의 주요 관심사였으나, 가용성을 고려할 때는 시스템이 고장나더라도 빠른 시간안에 수리해 주어 시스템을 작동 가능한 상태로 만들어 주는 것이 우리의 주요 관심사이다. 이런 이유에서 수리가 가능한 시스템의 有効性的 尺度로는 可用性이 信賴性보다 더 바람직하다.

可用性은 시스템이 어떤 時點에서 만족스럽

게 작동할 수 있는 확률로 정의된다. 例로 작동 시작후 몇 시간만에 고장난 시스템을 생각해 보자. 이 경우 시스템의 신뢰성은 상당히 낮은 값을 가질 것이 당연하다. 그렇지만 고장을 상당히 짧은 시간안에 수리해 줄 수 있다면 이 시스템의 가용성은 비교적 높아질 수 있다. 이와 같은 경우 이 시스템의 有効性的 尺度로 신뢰성을 택할지 가용성을 택할지는 시스템의 본래 의도된 목적에 의하여 결정되어야겠다. 만약 이 시스템이 수리가 불가능한 인공위성이라면 시스템의 유효성의 尺度로 신뢰성을 택하게 되어 이 시스템의 有効성은 낮은 것으로 판명되겠다. 만약 이 시스템이 공장에서 생산을 목적으로 사용되는 기계라면 가용성을 유효성의 척도로 쓰는 것이 더 바람직 하겠고 시스템의 유효성도 비교적 높은 것으로 생각되겠다.

可用性은 세가지로 분류해 볼 수 있다, 순간 可用性(instantaneous availability), 區間 可用性(interval availability), 安定狀態 可用性(steady-state availability)이 그것이다. 순간 가용성,  $A(t)$ , 는 시스템이 랜덤(random)한 時點  $t$ 에서 작동할 수 있는 확률로 정의된다. 區間 可用性,  $A(T)$ , 는 특정한 時間區間  $(0, T)$  동안에 시스템이 작동 가능했던 시간구간과 全區間과의 비율로 정의되며 다음과 같이 표현된다.

$$A(T) = \int_0^T A(t) dt / T \quad \text{式(9)}$$

위에서 고려한 時間區間이 상당히 커질때, 시스템의 가용성을 안정상태 가용성이라 불러주고 다음과 같이 표현한다.

$$A(\infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} A(T) \quad \text{式(10)}$$

가용성의 세가지 분류중에 어떤 것을 시스템의 有効性的 尺度로 사용하는 것이 적합한지는 우리가 고려하는 시스템의 임무와 사용 조건에 의하여 결정되어야 한다. 탐지 레이더 시스템(detection radar system)과 같이 연속적인 작동을 필요로 하는 시스템에 대해서는 安定狀態(steady-state) 可用性이 가장 적합한 尺度가 되겠다. 시스템의 사용이 任務주기(duty cycle)에 의하여 정의되는 경우에는 區間 可用

성이 적합한 尺度로 등장되겠다. 어떤 표적물이 탐지된 후에 주어진 시간구간 동안 이 표적물을 연속적으로 추적하는데 사용되는 추적레이다(tracking radar) 시스템이 좋은 예이다. 시스템이 어떤 랜덤한 時點에 기능을 발휘해야 되는 경우에는 순간 가용성이 가장 적절한 尺度가 되겠다. 이런 시스템의 예로는 항로 정리를 위해 사용되는 data processing 시스템을 생각할 수 있다. 이 시스템은 항로를 결정해 줘야 할 필요가 있을 때만 불러 들여서 사용되고 나머지 시간에는 쉬는 상태에 놓여있게 된다.

신뢰성 분석을 하기 위하여 시스템을 이루는 부품들의 고장시간분포만 알면 되었으나, 가용성 분석을 위하여는 이 외에도 수리시간분포를 알아야 한다. 신뢰성 분석에서와 마찬가지로 가용성 분석하는데도 시스템의 형태(configuration)에 의하여 시스템의 가용성이 결정된다. 이에 관한 이야기는 신뢰성을 다루는 절에서와 유사하게 전개해 나갈 수 있으므로 여기서는 생략하기로 한다. 이 외에 가용성에 관한 비교적 광범위한 고찰에 대해서는 참고문헌[2]에 나와 있다.

한편, 可用性은 시스템의 정지시간(down-time)을 어떻게 정의해 주느냐에 따라 다음 세가지로 분류할 수 있다. 고유 가용성(inherent availability), 성취 가용성(achieved availability), 작업 가용성(operational availability)이 그것 들이다. 먼저 이 세가지 분류의 가용성을 정의해 주기 전에 시스템의 정지시간에 대해서 살펴 보자. 시스템을 보수해 줘야 하기 때문에 생길 수 있는 정지시간으로 수정보수 정지시간(corrective maintenance downtime)과 사전보수 정지시간(preventive maintenance downtime) 두가지를 생각할 수 있다. 수정보수는 고장난 시스템을 수리해 주기 위해 사전에 계획없이 행해지는 보수를 말하며 이로 인해 시스템을 일정한 시간동안 정지하게 된다. 사전보수는 미리 세워진 계획에 따라 행하는 보수로 사전보수를 해줘서 시스템의 고장을 예방하고자 한다. 사전보수는 시스템이 작동하는 중에 행해질 수도 있고 경우에 따라서는

시스템을 정지시켜야 사전보수가 가능할 때가 있다. 후자의 경우에는 사전보수 때문에 시스템의 정지시간이 발생케 된다. 일반적으로 사전보수의 계획성 때문에 사전보수로 인한 시스템의 정지시간은 수정보수로 인한 정지시간보다 비교적 짧은 것으로 알려져 있다. 아울러 사전보수를 해주면 수정보수의 뜻수가 어느정도 줄어들게 되어 보수로 인한 전체 정지시간을 줄여줄 수 있다. 이러한 이유에서 사전보수는 많은 경우 정당화 된다. 지금까지 말한 수정보수 정지시간과 사전보수 정지시간은 실제로 시스템을 보수(또는 수리)하는데 소요되는 시간만 포함하고 있다. 경우에 따라서는 보수해 주는데 스페어(spare)部品이 필요하고 우리가 이것을 가지고 있지 않을 때 밖으로 부터 사와야 되겠다. 이런 경우 부품을 사오기 위하여 서류를 작성하는데 시간이 걸리고 부품이 우리 손에 들어오기까지 많은 시간을 기다려야 한다. 물론 수리를 위하여 부품이 필요하기 때문에 이렇게 기다리는 시간은 수리와 간접적인 관계를 가진다. 그러나 이런 시간이 수리에 직접 소요되는 시간은 아니기 때문에 이런 시간을 통털어 지체시간(delay time)이라 불러준다. 이런 식으로 생각하면 시스템의 정지시간(downtime)은 수정보수 정지시간, 사전보수 정지시간, 지체시간으로 이뤄짐을 알 수 있다. 그러면 정지시간에 무엇이 포함되느냐에 따라 可用性을 다음과 같이 정의해 보겠다.

고유 가용성(inherent availability),  $A_i$ , 는 다음 式으로 정의된다.

$$A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad \text{式(11)}$$

여기서 MTBF(mean time between failure)는 고장이 일어날 때까지의 평균작동시간을 나타내 주고, MTTR(mean time to repair)는 평균 수리시간을 나타낸다. 여기서 MTTR는 평균 수정보수 정지시간과 같은 것으로 해석된다. 그렇기 때문에 시스템의 정지시간으로 수정보수 정지시간만이 포함되고, 사전보수 정지시간이나 지체시간은 포함되지 않는다. 지체시간이 포함되지 않았다는 것은 모든 지원상태가 이상적이라는 의미를 갖는다. 그래서 고유

가용성은 사전보수가 계획되지 않은 시스템에 대한 이상적인 지원상태 아래서의 유효성의 尺度로 적합하다.

성취가용성 (achieved availability),  $A_a$ , 는 다음 式으로 정의된다.

$$A_a = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + M) \quad \text{式(12)}$$

이 경우는 시스템의 정지시간으로 지체시간만 제외되고 수정보수 정지시간과 사전보수 정지시간이 함께 포함된다. 여기서 MTBM(mean time between maintenance)는 보수(수정보수와 사전보수)를 위하여 시스템이 정지될 때까지 작동할 수 있는 평균 작동구간을 나타낸다.  $M$ 은 수정보수와사전보수 때문에 일어나는 시스템의 보수 정지시간의 평균치이다. 그래서  $M$ 은 수정보수와 사전보수가 행해지는 뜻수 (frequency), 그리고 각 보수시간의 평균치의 함수가 된다. 따라서 성취가용성은 사전보수가 계획된 시스템에 대한 이상적인 지원상태 아래서의 유효성의 尺度로 적합하다.

그러나, 대부분의 작업상황 아래서 이상적인 지원상태를 기대하기란 어렵다. 실제 보수에 소요되는 정지시간 외에도 다소의 지체시간이 생기기 마련이다. 이와같이 보수 정지시간과 지체시간이 함께 시스템의 정지시간으로 고려되는 경우에 적합한 척도는 작업가용성 (operational availability)이다. 작업가용성,  $A_o$ , 는 다음 式으로 정의된다.

$$A_o = (\text{MTBM} + \text{ready time}) / (\text{MTBM} + \text{ready time} + \text{MDT}) \quad \text{式(13)}$$

여기서,  $\text{MDT} = M + \text{지체시간}$

$$\text{ready time} = \text{작업주기} - (\text{MTBM} + \text{MDT})$$

를 나타낸다. 단, MDT(mean downtime)은 평균정지시간을 의미한다. 대부분의 경우, 고유가용성이나 성취가용성보다 작업가용성이 좀더 실질적인 유효성의 척도가 된다. 그러나 여기서 지체시간은 행정적인 요인과 지원의 요인에 의한 영향을 많이 받기 때문에 이것을 정확하게 결정해 주기가 힘들다. 따라서 시스템 설계단계에서 보수성을 고려할 때 지체시간을 반영시키기가 어렵다. 이런 이유에서 작업가용성이 가장 현실적인 척도라는 것을 알

면서도 우리는 성취가용성이나 고유가용성으로 만족해야 되는 경우가 많다.

#### 4. 擬似 信賴性(Pseudo-Reliability)

擬似 信賴性이란 신뢰성과 相對的 性能(relative-performance)이 복합된 시스템 有効性的 尺度를 말한다. 신뢰성은 시스템이 일정 기간 동안 고장없이 작동할 수 있는지 없는지를 말해 주지만 이때 어떤 수준의 성능으로 작동하는지는 구체적으로 반영되지 않는다. 그러나 시스템이 고장없이 작동할 수 있는 능력도 중요하지만, 과연 이때 어느 수준의 성능을 가지고 작동하는가도 중요시 되는 경우가 있다. 많은 軍장비 시스템에 대해서 우리는 이런 경우를 흔히 볼 수 있다. 특히 전투용 탱크(tank)에 대한 擬似 信賴性 모델(model)이 참고문헌 [4]에 나와 있다. 여기서는 참고문헌[4]의 일부를 인용하여 擬似 信賴性이 무엇인가를 좀더 자세히 살펴 보기로 하겠다.

전투용 탱크 시스템을 구성하는 부대 시스템(subsystem)은 여러가지 있으나, 이 중에 탱크의 기동성과 관계되는 것으로 suspension 시스템이 있다. suspension 시스템은 다시 여러개의 부대 시스템으로 이뤄지며, 탱크 바퀴(road wheel)가 이들 부대 시스템 중의 하나가 된다. 탱크에는 바퀴가 한 쪽에 여섯개씩, 전부 열두개의 바퀴가 있다. 이들 중에 양쪽 맨 앞뒤 쪽에 위치한 바퀴들(총 4개) 중에 하나라도 고장나면 탱크가 움직이는데 치명적인 타격을 받는다. 이를 제외한 중간에 위치한 바퀴들은 한쪽에 4개씩, 총 8개가 된다. 이들 중간에 위치한 바퀴들은 끝 쪽에 있는 바퀴들보다 덜 치명적이다. 탱크 관계 전문가들의 의견에 의하면 중간에 위치한 바퀴 8개 중에 2개 까지 고장나도 탱크는 움직일 수 있는 것으로 간주된다. 그러나 이들 중에 3개 또는 그 이상 고장나면 탱크가 움직일 수 없는 것으로 간주한다. 우리가 만약 중간에 위치한 바퀴 8개만 고려하고 편의상 이것을 중간위치 바퀴 시스템이라 불러주면, 이 시스템이 작동 가능한 상태로 3가지를 생각해 줄 수 있다.

첫번째 상태는 바퀴 8개가 전부 작동하는 경우이고, 두번째 상태는 바퀴 7개가 작동하고 하나가 고장난 경우, 세번째 상태는 바퀴 6개가 작동하고 두 개가 고장난 경우이다. 그러면 위의 세가지 상태를 제외한 다른 상태들은 하나로 모아 고장상태로 규정지을 수 있다. 여기서 중간위치 바퀴시스템이 작동 가능한 세가지 상태에 있을 상태확율을 각각  $P_1, P_2, P_3$ 라 하자. 그러면 중간위치 바퀴시스템의 신뢰성,  $R$ ,은 다음 식으로 주어진다.

$$R = P_1 + P_2 + P_3 \quad \text{식(14)}$$

물론 각 상태확율  $P_1, P_2, P_3$ 는 바퀴의 고장 시간분포를 알면 손쉽게 구할 수 있다. 그러면 중간위치 바퀴시스템이 작동 가능한 세 가지 상태 아래서 과연 똑같은 성능을 갖을지 한번 생각해 볼만 하겠다. 상식적으로 생각해도 각 상태에서 성능이 같으리라고 기대하기는 어렵겠다. 첫번째 상태에서의 성능이 두번째 상태에서의 성능보다 높을 것으로 기대되고, 나아가서 두번째 상태에서의 성능이 세번째 상태에서의 성능보다 높을 것으로 당연히 기대된다. 여기서 세 가지 상태에서의 상대적 성능을 각각  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 라 하면, 중간위치 바퀴시스템의 擬似 信賴性,  $\hat{R}$ ,은 다음 식으로 정의된다.

$$\hat{R} = \sum_{k=1}^3 \alpha_k \cdot P_k \quad \text{식(15)}$$

중간위치 바퀴시스템의 작동상태, 상태확율, 각 상태에 있어서의 상대적 성능을 정리해 보면 表 1과 같다.

表 1. 중간위치 바퀴시스템

작 동 상 태	상태확율	상대적성능
바퀴 8개 전부 작동	$P_1$	$\alpha_1$
바퀴 7개 작동, 하나 고장	$P_2$	$\alpha_2$
바퀴 6개 작동, 두개 고장	$P_3$	$\alpha_3$

일반적으로

$$\alpha_1 \geq \alpha_2 \geq \alpha_3, \quad 0 \leq \alpha_k \leq 1, \quad k=1,2,3 \quad \text{식(16)}$$

이란 관계가 성립되고 대부분의 경우  $\alpha_1=1$ 이란 값을 취하게 된다. 식(15)에서 각 상태에서의 상대적 성능을 1이라 놓으면 (즉  $\alpha_k=1$  for all  $k$ ) 식(15)는 식(14)로 환원됨을 볼 수

있다. 바꿔 말하면 각 상태에서의 상대적 성능이 1이면 擬似 信賴性은 信賴性和 같아진다. 이런 관점에서 볼 때 신뢰성은 擬似 信賴性의 하나의 특별한 경우에 해당된다. 그래서 일반적으로 시스템의 신뢰성은 시스템의 상대적 성능이 모든 상태에서 완벽하다는 가정을 내포하고 있는 것으로 해석된다. 그러나 실제로 시스템의 성능이 모든 상태에서 완벽할 수는 없기 때문에, 많은 軍장비 시스템에 대한 有効性의 尺度로 擬似 信賴性이 信賴性보다 현실적으로 적합한 경우가 많을 것으로 기대된다. 擬似 信賴性에 포함되어 있는 상대적 성능은 결과적으로 시스템의 신뢰성을 현실에 맞도록 할인(discount)해 주는 역할을 하게 되며, 각 작동상태에서의 상대적 성능을 결정해주는데는 그 시스템에 종사하는 전문가의 주관적 평가(subjective assessment)를 이용한다.

### 5. 시스템 가치(System Worth)

시스템 가치는 개념적으로 擬似 信賴性和 유사하다. 擬似 信賴性은 신뢰성과 상대적 성능이 복합된 有効性의 尺度인데 반하여, 시스템 가치는 신뢰성과 정확성(accuracy)이 복합된 有効性의 尺度이다. 시스템 가치 역시 軍장비 시스템에 대한 有効性의 尺度로 흔히 쓰인다. 특히 우리가 어떤 목표물(target)을 쏘아 명중시켜야 될 때 시스템 가치는 매우 유용한 尺度로 등장한다. 예를 들어, 우리가 총을 쏘아 적군을 쓰러뜨려야 할 임무를 가지고 있을 때, 임무를 완수하기 위하여 물론 총의 신뢰성도 중요하지만 총알이 적군에 맞을 정확성(accuracy)은 더 중요하다. 이런 경우 정확성은 어떤 통계분포를 따르게 되겠고, 정확성에 대한 전형적인 분포로 쓰이는 것은 bivariate 정규분포이다. 정확성 확율은 이 분포를 이용하여 구해질 수 있고, 이것은 앞절에서 나온 상대적 성능과 어느정도 대응되는 개념이 되기 때문에 자세한 분석은 여기서 생략한다. 시스템 가치에 대한 좀 더 자세한 분석을 알기 원하는 이는 B-58 폭격기를 다룬 참고문헌 [1]을 참조하면 되겠다.

## 6. 任務 有効性(Mission Effectiveness)

시스템이 규정된 任務(mission)를 수행해 나갈 수 있는 능력을 나타내는데 任務 有効性이란 尺度를 쓴다. 任務 有効性은 시스템이 주어진 任務를 성공적으로 완수할 수 있는 확률로 정의된다. 任務 有効性 역시 軍장비 시스템의 有効性의 尺度로 흔히 사용되는 尺度중의 하나다. 任務 有効性은 다음 式과 같이 獨立的인 확률의 積으로 표현된다.

$$ME = A \cdot R \cdot P \quad \text{式(17)}$$

여기서,  $ME$ 는 任務 有効性을 나타내고,  $A$ 는 시스템의 可用性,  $R$ 은 任務信賴性(mission reliability),  $P$ 는 정확성의 尺度이다. 式(17)에서 可用性  $A$ 가 나타내 주는 것은 시스템이 任務에 불려 들여질 때의 준비도(readiness)이다. 임무실패성  $R$ 은 임무시간(mission duration) 동안에 시스템이 고장없이 작동할 확률을 나타낸다. 따라서 式(17)로 주어진 정의에 의하면 시스템이 주어진 임무를 성공적으로 완수하기 위하여는 다음 조건들이 모두 만족되어야 한다. 첫째, 시스템이 任務가 시작될 때 작동가능해야 된다. 둘째, 시스템이 임무 시간동안 고장없이 계속 작동할 수 있어야 된다 셋째, 시스템이 임무중에 만족스러운 정확성을 발휘해 줘야 된다. 이 세 조건중에 어느 하나라도 만족되지 않으면 시스템이 임무를 완수하지 못한 것으로 간주되어 임무가 실패로 돌아가게 된다.

軍장비 시스템의 任務 有効性을 나타내는데 이 정의가 그 동안 많이 사용되어 왔다. 그러나, 美國 陸軍에서 軍장비에 대한 시험과 평가를 전담하는 기구인 U.S. Army Operational Test and Evaluation Agency에서의 경험에 의하면 많은 軍장비의 任務 有効性이 실제 field에서 기대했던 것보다 많이 떨어진다는 것이다. 이와같은 軍장비 시스템의 有効性의 저하는 field에서의 환경(environment)의 요인과 장비를 다루는 대원(operator)의 요인에 의해서 발생된다. 환경과 대원은 의외로 임무의 성패

에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Field에서의 환경과 관계되는 것은 field에서의 기후조건을 들 수 있다. 일반적으로 낮에 임무를 수행하는 경우가 밤에 임무를 수행하는 때보다 성공율이 높고, 개인 날이 비 오거나 눈 오는 날보다 임무의 성공율이 높아진다. 따라서 field에서의 환경조건이 임무에 미치는 영향을 고려해 주는 것이 현실적으로 바람직하다. 대원이 임무의 성패에 미치는 영향은 대원의 자질(qualification)과 대원에 대한 재훈련(retraining)에 달렸다. 대원이 맡은 일에 적성이 맞고 능력이 있으면 그렇지 못한 대원보다 임무의 성공에 기여하는 바가 크다. 그리고 일정한 기간마다 대원에 대한 재훈련을 실시해 줌으로써 대원의 performance 수준을 최상급 가까이 올려 줄 수도 있겠다. 많은 경우, 대원이 軍장비를 오래동안 다루게 되면 경험도 늘지만 반면에 습관성에 빠지게 되어 대원의 performance 수준은 그가 유지할 수 있는 최상급보다 아래 수준에서 유지되는게 보통이다. 그러나, 일정한 적정 간격마다 재훈련을 실시해 주어 그의 performance 수준을 최상급으로 올릴 수 있다. 이와같이 任務 有効性에 환경의 요인과 대원(operator)의 요인을 포함시킨 예가 참고문헌 [5]에 나온다.

## 7. 결 론

지금까지 시스템의 有効性의 尺度로 흔히 쓰이는 것 몇가지를 보았다. 이들은 信賴性, 可用性, 擬似 信賴性, 시스템 가치, 任務 有効性이었다. 앞에서도 언급했듯이 이들 중에 어떤 것을 우리가 고려하는 시스템의 有効性의 尺度로 사용하는 것이 좋은가 결정해 주기 위하여는 신중한 고려가 필요하다. 우선 우리가 고려하는 시스템의 任務가 무엇인지, 원래 의도된 사용목적이 무엇이며, 현재 사용되는 조건들은 어떤지를 검토해야 한다. 이런 검토에 의존하여 앞에 소개한 여러가지 尺度중에서 어떤 것이 우리가 고려하는 시스템의 有効性을 가장 적절하게 나타내 줄 수 있나를 결정해야 하겠다. 물론 여기서 소개한 尺度들이



대부분의 시스템의 有効性의 尺度로 항상 만족스럽게 사용될 수는 없으며, 이런 경우에는 가장 가깝게 만족시켜줄 수 있는 것을 선택하면 되겠다. 아울러 여기 소개된 尺度 外에도 다른 尺度의 개발에 힘쓸 여지가 아직도 있다고 생각한다.

#### References

1. Katz, M.D., Jaffe, H., and Rosenthal, S.A., "Designing Reliability into the B-58 Bombing-Navigation System", *Proc. 7th National Symposium on Reliability and Q.C.*, pp. 273-282, Philadelphia, Pa., Jan. 1961.
2. Lie, C.H., Hwang, C.L., and Tillman, F.A., "Availability of Maintained Systems: A State-of-the-Art Survey", *AIIE Transactions*, Vol. 9, No. 3, pp. 247~259, Sept. 1977.
3. Shooman, M.L., *Probabilistic Reliability: An Engineering Approach*, McGraw-Hill, New York, 1968.
4. Tillman, F.A., Lie, C.H., and Hwang, C.L., "Analysis of Pseudo-Reliability of a Combat Tank System and its Optimal Design", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.4, pp. 239-242, Oct. 1976.
5. Tillman, F.A., Lie, C.H., and Hwang, C.L., "Simulation Model of Mission Effectiveness for Military Systems", accepted for publication, *IEEE Transactions on Reliability*, Aug. 1977.