

# 센서를 통한 실시간 신뢰성 평가기술



| 이 재 호 |  
한국철도기술연구원  
책임연구원



| 장 주 수 |  
(주)모아소프트  
신뢰성기술연구소  
대표이사

## 1. 서론

시스템에 대한 신뢰도평가기술은 하드웨어를 중심으로 많은 진척을 보이고 있으며, 최근에는 하드웨어에 탑재하는 Embedded Software 시스템의 경우까지 그 평가의 방법 등이 다양하게 발전하고 있다. 특히 자동차, 군사분야의 시스템 등은 다양한 Embedded Software가 예전의 하드웨어기능을 대신하게 되면서 Software Code 자체의 신뢰도 또한 중요한 문제로 부각되고 있는 실정이다. 그러나 시스템에 대한 전통적인 신뢰도 평가기술은 주로 설계단계에서의 정보를 통한 일회적 의미의 평가방법이 주류를 이루고 있으며, 시간에 따라 변화를 보이는 형태에 대한 실시간적인 의미의 신뢰도 평가 방법은 아직 일반화된 형태를 찾아보기 어렵다.

본 문서는 실시간적인 접근방법을 통한 시스템 신뢰도 평가방안의 한 예로써 주어진 독립적인 시스템의 기계적 특징을 고려하고 여기에 센서기능을 접합하여 시스템의 특정 부분에 대한 신뢰도 및 신뢰도평가를 통한 정비주기산정 등에 대한 내용을 제시할 것이다.

## 2. 시스템 신뢰도의 기계적 특징

시스템 또는 시스템의 일부인 기계적 장치 등의 수명은 주로 기계적인 특성에 따라 결정되는 경우가 많다. 예를 들어 진동은 수명을 결정하는데 중요한 요소가 될수 있으며, 온도 또한 그러한 성질을 보인다. 이에 본 문서에서는 이러한 주요 특징을 온도, 습도 및 진동 3 가지 요소로 분류하고 센서 기술과 접합하여, 신뢰도를 평가할 수 있는 방안을 다음 모델을 통해 제시한다.

### 2.1 온도 요소 모델

온도의 주기적 변화에 대한 기계적 피로 (Mechanical Fatigue)는 다음과 같은 모델에 의해 설명이 가능하다.

$$f(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma n} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln n - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (\text{식 1})$$

단, n = 고장시점의 온도 Cycle의 수

$\mu$  = n의 평균

$\sigma$  = n의 표준편차

즉, (식-1)의 의미는 온도 싸이클 수-고장간의 횡수는 대수 정규분포(Lognormal distribution)를 따른다고 할 수 있다. 따라서 누적 고장 횡수를 실시간

으로 적용할 수 있으면, 다음(식-2)를 통해 현재 시점의 신뢰도 계산이 가능하다.

$$F(n) = \int_0^n f(n)dn = \Phi\left(\frac{\ln n - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{식 } 2)$$

단,  $\Phi()$ 는 표준정규분포를 의미한다.

### 2.2 진동 요소 모델

진동 요소 또한 온도 요소의 그것과 비슷하며, 단지 진동 사이클에 대한 분포만 다를 뿐이다.

$$g(n) = \frac{\beta}{M} \left(\frac{n}{M}\right)^{\beta-1}, 0 < n \leq M. \quad (\text{식 } 3)$$

단,  $n$  = 고장까지의 진동 사이클 수  
 $\beta$  = Weibull 함수의 모수이다.

온도 사이클과 마찬가지로 누적 진동 사이클을 통해 다음(식-4)와 같이 신뢰도를 실시간으로 계산할 수 있다.

$$G(n) = \int_0^n g(n)dn = \left(\frac{n}{M}\right)^\beta \quad (\text{식 } 4)$$

### 2.3 온도-습도 요소 모델

기계에 대한 습도 요소는 신뢰도 관점에서 무시할 수준이라 볼 수 있다. 그러나 습도와 온도의 혼합된 형태는 어느 정도 수명에 영향을 준다고 판단할 수 있다. 만약 온도 사이클에 대한 피로-수명간의 관계를 파악할 수 있다면, 다음과 같이 습도에 대한 수명-피로관계를 간접적으로 추론할 수 있다.

$$\tau = A \exp(-B \times RH) \exp[E/(kT)] \quad (\text{식 } 5)$$

단, RH = 상대습도  
 $E = 0.79eV$   
 $A, k$  = 데이터를 통해 결정될 상수이다.

## 3. 시스템 구현과 적용

상기 모델을 각 센서와 결합한 Embedded 보드를 분석 대

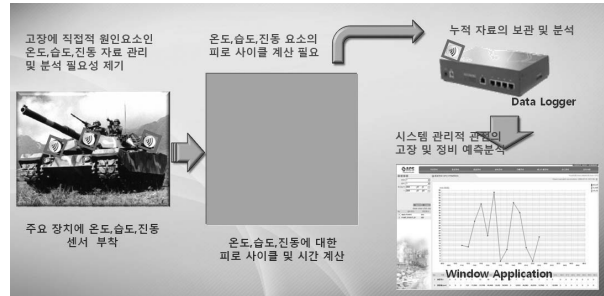


그림 1. 실시간 신뢰도평가 시스템 구현도

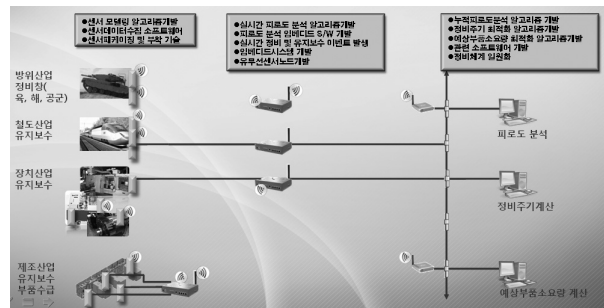


그림 2. 구체적 개발방향

상 시스템에 부착하여 신뢰도를 평가하는 방안을 개념적으로 도시하면 그림 1과 같다.

그림 2와 같이 진동 및 온도에 대한 피로 특성이 확인하게 드러나는 탱크 같은 시스템의 경우, 각 요소에 대한 센서링을 통해 어느 정도의 수명을 계산할 수 있으며, 현재의 수명을 통해 정비 또는 교환주기를 예측할 수 있다. 만약 온도, 진동, 습도 등의 스트레스에 의한 고장간 시간이 Nonhomogeneous 하다면 다음과 같은 Poisson 확률 과정을 적용하여 모델을 정의할 수 있다.


$$p(N[t] = f) = \frac{\mu(t)^f}{f!} \exp[-\mu(t)], f = 0.1.2.3... \quad (\text{식 } 6)$$

단, N = 시점에 따른 고장 횟수  
 $f$  = 고장발생빈도

또한, 평균 고장함수를 정의할 수 있다면, (식 6)의 해 다음 번 고장 시점을 계산할 수 있으며 정비 또는 수리 시점을 정량적 확률로 표현할 수 있다.

#### 4. 결론

시스템의 신뢰도에 대한 평가는 시스템을 정상적으로 운용하면서 가용성을 높이기 위한 기술이다. 따라서 특정 시점에서 고장과 정비 및 교환수리 등이 실시간으로 파악되고 진행된다면, 비용 측면에서 큰 이득을 얻을 수 있다. 본 문서의 연구 결과에 의하면, 이러한 시스템을 구현하는 것은 어려운 문제가 아니지만, 중요 시스템의 경우 설

계단계에서부터 이러한 내용을 고려하여 설계하는 것이 실시간 평가 시스템 구현에 가장 적합하다는 것을 알 수 있었다. 

#### ♣ 참고 문헌

1. Environmental Stress Screening, D.Kececioglu, Prentice Hall, 1995
2. Accelerated Testing, Wayne Nelson, Wiley Interscience, 1990