

氣候條件을 考慮한 人間-機械體系의 信賴度 (Reliability Analysis of the Man-Machine System Operating under Different Weather Conditions)

李吉魯*, 河碩太**

Abstract

This paper deals with reliability and MTTF analysis of a non-repairable man-machine system operating under different weather conditions. The system consists of a hardware(machine) and a two-operator standby subsystem such as the air combat maneuvering of fighters with dual seat.

The failure times for the subsystems follow the exponential distribution with constant parameter. By considering not only the effect on hardware component but also the weather conditions and human performance factors such as the operator's errors, a Markov model is presented as a method for evaluating the system reliability of time continuous operation tasks. Laplace transforms of the various state probabilities have been derived and then reliability of the system, at any time t , has been computed by inversion process. MTTF has also been computed.

* 陸軍 第28師團

** 國防大學院

1. 서 론

체계의 신뢰도는 체계가 정해진 환경조건들 아래에서 운용될 때 주어진 특정한 기간 동안 그의 의도된 기능을 만족스럽게 수행할 확률이다[3]. 체계가 인간-기계로 구성되어 있을 경우 조작자의 기술수준이나 운용환경에 따라서 신뢰도가 영향을 받을 수 있다.

신뢰도에 대한 연구는 기계(hardware) 자체에 대한 연구, 기계와 운용자(operator)를 고려한 연구, 기계와 기후조건(weather conditions)을 고려한 연구 및 이들 모두를 고려한 연구로 구분될 수 있다.

Dhillon[1]은 기후조건을 고려하여 체계의 운용 중에 발생하는 고장이 인간의 오류에 의한 고장인 경우(모형1)와 인간의 신체적 조건을 고려하여 기계고장과 인간의 오류에 의한 고장인 경우(모형2)에 대한 신뢰도를 적용하였다. 즉, 모형 1에서는 체계의 고장이 인간의 오류에 의해서 발생하고 인간의 오류율은 기후조건에 따라서 다를 수 있으므로 정상기후와 악천후 사이에 상호 일정한 전이율이 있는 것으로 가정하고 있다. 이 체계에서 인간오류율은 확률적으로 독립이고 인간은 초기에 양호한 신체적 조건에서 임무를 수행한다. 그리고 모형 2에서는 체계운용자의 신체조건에 따라서 체계를 기계고장과 인간 오류에 의해서 고장나는 상태로 분류하였다. 신체조건이 양호한 운용자는 스트레스와 피로 등에 의해서 불량한 신체조건으로 전이될 수 있으나 회복되지 않는다고 가정하였다. 또한 체계가 운용되는 기후조건에 관계없이 기계고장과 인간오류는 수리 및 회복이 가능하고 수리된 체계는 신품과 같은(as good as new) 상태로 회복될 수 있다고 하였다.

Gupta와 Kumar[2]는 병렬로 구성된 하나의 하부체계(subsystem)와 단일부품으로 된 하나의 하부체계가 직렬로 연결되어 있는 수리불가능한 복합체계의 신뢰도를 연구하였다. 두 하부체계 중 하나는 두 개의 구성품(hardware)이 병렬로 중복되어 있으며 각 장비는 운용자 한 명이 운용하는 체계로서 이 하부체계의 고장은 장비와 인간의 오류에 기인되고 또 하나의 하부체계는 단일체계로써 장비의 고장에 의해서만 고장이 발생한다고 가정하였다. 그리고 고장들은 확률적으로 상호 독립으로 가정하였다. 그는 체계의 고장이 기계고장(hardware failure)과 인간고장(human failure)에 의해서 발생하는 상태를 묘사하여 신뢰도모형을 제시하고 고장까지의 평균시간(mean time to failure : MTTF)을 계산하였다.

본 연구의 대상체계는 전투기와 두 명의 조종사들로 구성된 체계가 공중전투기동임무를 수행하는 경우와 같이 여러 가지 다른 환경 아래에서 기계와 이것을 운용하는 대기중복(standby redundant)인 두 명의 운용자로 구성된 인간-기계체계이다. 여기에서 각 운용자는 동일한 임무를 수행하는 것은 아니지만 한 운용자가 고장인 경우 다른 운용자가, 능력의 차이는 있지만, 고장인 운용자의 임무를 대신할 수 있는 경우이다. 예를 들면, 어떤 전투기의 주 임무를 수행하는 조종사가 임무를 수행할 수 없는 상황이 발생하면, 항법 및 화력통제 임무를 담당하는 조종사가 비록 능력의 차이는 있지만 주임무를 대신할 수 있는 경우이다. 이 체계의 고장은 기계 자체의 고장 혹은 운용자의 고장으로 발생할 수 있다. 본 연구는 서로다른 여러 가지 환경조건 아래에서 하나의 기계와 대기중복인 두 명의 운용자로 구성된 인간-기계체계의 신뢰도를 평가하기 위하여 마코프 방

범으로 신뢰도모형을 설정한다.

2. 모형 설정

2.1 체계묘사

본 연구의 대상체계는 인간과 기계가 상호 긴밀하게 결합되어 있는 인간-기계체계이다. 여기에서 하나의 기계를 다루는 두 명의 운용자는 대기중복(standby redundancy)이다. 따라서 연구대상체계는 <그림 1>과 같이 두 명의 운용자 중에서 한 명이 기계를 운용하고, 다른 한 명은 기계를 운용 중인 사람이 임무를 수행할 수 없을 경우 어느 때라도 즉시 기계를 운용할 수 있도록 대기상태에 있다. 이 체계는 여러 가지 기후상태 아래에서 운용되지만 분석의 편의를 위하여 정상기후상태와 악천후상태 중 어느 한 상태에서 운용되는 것으로 한정하고, 체계의 구성요소들의 고장률은 기후조건에 따라 다르다고 본다. <그림 1>에서 기계와 운용자들을 연결시켜 주는 스위치(s/w)는 가상적으로 설정한 것이며 이것의 역할은 단지 운용자 1이 고장일 때 운용자 2를

개념적으로 체계와 연결시켜 주는 역할을 한다. 따라서 이 그림에서 스위치는 신뢰도 연구에서 일반적으로 의미하는 체계의 한 구성품이 아니다.

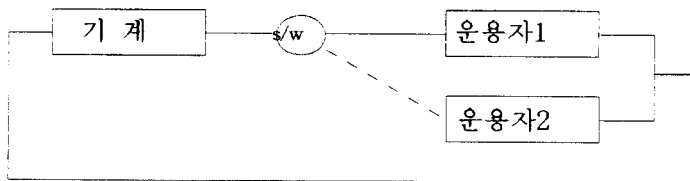
연구대상체계의 고장은 기계가 고장이거나 모든 운용자가 고장인 경우에 발생하며, 고장난 구성요소(기계 및 운용자)는 수리 또는 회복되지 못한다.

본 연구의 대상체계에 대한 신뢰도와 MTTF를 유도하기 위한 가정사항은 다음과 같다.

- (1) 첫 번째 운용자의 고장 즉시 대기 중인 운용자가 체계를 운용한다.
- (2) 정상기후상태(악천후상태)로부터 악천후상태(정상기후상태)까지 전이율은 일정하다.
- (3) 구성요소들의 고장은 확률적으로 서로 독립이다.
- (4) 구성요소들의 고장률은 일정하다
- (5) 구성요소들의 초기상태는 모두 작동상태이다.

2.2 대기복합체계의 신뢰도와 MTTF

대기중복인 인간-기계체계가 서로 다른 기후조건에서 운용될 때, 나타날 수 있는 상태전이 다이어그램은 <그림 2>와 같다. 이 그림에서 체계의 상태는



<그림 1> 운용자가 대기중복인 인간-기계체계

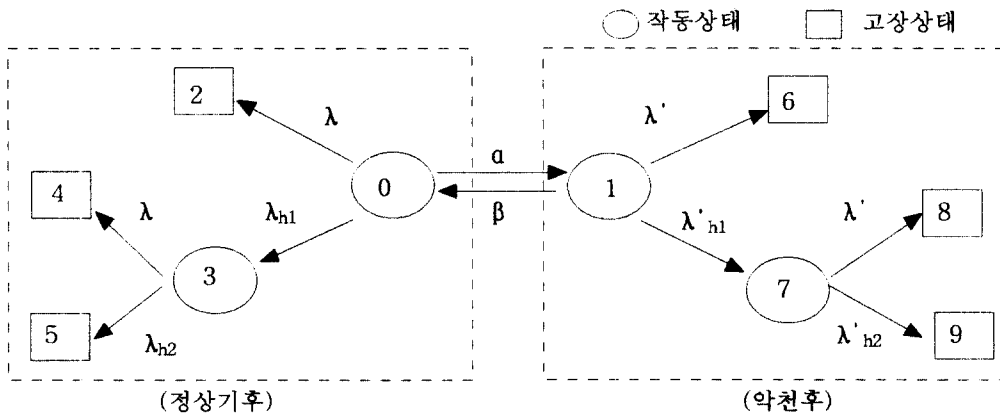
마디(node)로, 상태와 상태간의 전이는 분지(branch)로 표시되며, 전이율은 분지 위에 표시된 것이다. 여기에서 각 상태들의 의미는 다음과 같다:

- 상태 0 : 정상기후상태에서 체계와 운용자 1이 작동인 상태;
- 상태 1 : 악천후상태에서 체계와 운용자 1이 작동인 상태;
- 상태 2 : 정상기후상태에서 기계만 고장인 상태;
- 상태 3 : 정상기후상태에서 운용자 1만 고장인 상태;
- 상태 4 : 정상기후상태에서 기계와 운용자 1이 고장인 상태;
- 상태 5 : 정상기후상태에서 운용자 모두가 고장인 상태;
- 상태 6 : 악천후상태에서 기계만 고장인 상태;
- 상태 7 : 악천후상태에서 운용자 1만 고장인 상태;

- 상태 8 : 악천후상태에서 기계와 운용자 1이 고장인 상태;
- 상태 9 : 악천후상태에서 운용자 모두가 고장인 상태.

본 연구에서 사용되는 상수 및 변수는 다음을 의미한다:

- $\lambda(\lambda')$: 정상기후(악천후)상태에서 체계의 기계 고장률;
- λ_{h1} : 정상기후상태에서 운용자 1의 고장률;
- λ_{h2} : 정상기후상태에서 운용자 2의 고장률;
- λ'_{h1} : 악천후상태에서 운용자 1의 고장률;
- λ'_{h2} : 악천후상태에서 운용자 2의 고장률;
- α : 정상기후로부터 악천후로의 전이율;
- β : 악천후로부터 정상기후로의 전이율;
- s : 라플라스변환 변수;
- $P_i(t)$: 체계가 시간 t 에서 상태 i 에 있을 확률, $i = 0, 1, \dots, 9$.



<그림 2> 상태전이 다이어그램

Markov과정을 따르는 상태전이 다이어그램으로부터 다음과 같은 미분방정식들을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \dot{P}_0(t) &= -(\alpha + \lambda + \lambda'_{h_1}) P_0(t) + \beta P_1(t) \\
 \dot{P}_1(t) &= -(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}) P_1(t) + \alpha P_0(t) \\
 \dot{P}_2(t) &= \lambda P_0(t) \\
 \dot{P}_3(t) &= -(\lambda + \lambda_{h_2}) P_3(t) + \lambda_{h_1} P_0(t) \\
 \dot{P}_4(t) &= \lambda P_3(t) \\
 \dot{P}_5(t) &= \lambda_{h_2} P_3(t) \\
 \dot{P}_6(t) &= \lambda' P_1(t) \\
 \dot{P}_7(t) &= -(\lambda' + \lambda'_{h_2}) P_7(t) + \lambda'_{h_1} P_1(t) \\
 \dot{P}_8(t) &= \lambda' P_7(t) \\
 \dot{P}_9(t) &= \lambda'_{h_2} P_7(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

체계의 초기상태는 모든 구성요소가 작동상태라고 가정하였으므로 $t = 0$ 에서 $P_0(0) = 1$ 이고 $P_i(0) = 0$, $i = 1, 2, \dots, 9$ 이다.

식(1)의 양변에 라플라스변환을 취한 후 초기조건을 대입하면 다음식들을 얻을 수 있다:

$$\begin{aligned}
 (s + \alpha + \lambda + \lambda'_{h_1}) P_0(s) &= 1 + \beta P_1(s) \\
 (s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}) P_1(s) &= \alpha P_0(s) \\
 s P_2(s) &= \lambda P_0(s) \\
 (s + \lambda + \lambda_{h_2}) P_3(s) &= \lambda_{h_1} P_0(s) \\
 s P_4(s) &= \lambda P_3(s) \\
 s P_5(s) &= \lambda_{h_2} P_3(s) \\
 s P_6(s) &= \lambda' P_1(s) \\
 (s + \lambda' + \lambda'_{h_2}) P_7(s) &= \lambda'_{h_1} P_1(s) \\
 s P_8(s) &= \lambda' P_7(s) \\
 s P_9(s) &= \lambda'_{h_2} P_7(s)
 \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)의 첫 두식으로 부터 식(3)과 식(4)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_0(s) &= \frac{s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s - A)(s - B)} \\
 &= \frac{s}{(s - A)(s - B)} + \frac{\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s - A)(s - B)} \tag{3}
 \end{aligned}$$

$$P_1(s) = \frac{\alpha}{(s-A)(s-B)}. \quad (4)$$

여기에서

$$A = \frac{-\nu_1 + \sqrt{\nu_1^2 - 4\nu_2}}{2},$$

$$B = \frac{-\nu_1 - \sqrt{\nu_1^2 - 4\nu_2}}{2},$$

$$\nu_1 = \alpha + \lambda + \lambda_{h_1} + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1},$$

$$\nu_2 = \alpha(\lambda' + \lambda'_{h_1}) + (\lambda + \lambda_{h_1})(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}).$$

$P_2(s)$ 부터 $P_9(s)$ 까지는 식(3)과 식(4)를 기반으로 하여 다음식들을 구할 수 있다:

$$\begin{aligned} P_2(s) &= \frac{\lambda}{s} P_0(s) \\ &= \frac{\lambda}{s} \cdot \frac{s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s-A)(s-B)}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_3(s) = \frac{\lambda_{h_1}}{(s + \lambda + \lambda_{h_2})} \cdot \frac{s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s-A)(s-B)}, \quad (6)$$

$$P_4(s) = \frac{\lambda}{s} \cdot \frac{\lambda_{h_1}}{(s + \lambda + \lambda_{h_2})} \cdot \frac{s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s-A)(s-B)}, \quad (7)$$

$$P_5(s) = \frac{\lambda_{h_2}}{s} \cdot \frac{\lambda_{h_1}}{(s + \lambda + \lambda_{h_2})} \cdot \frac{s + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{(s-A)(s-B)}, \quad (8)$$

$$P_6(s) = \frac{\lambda'}{s} \cdot \frac{\alpha}{(s-A)(s-B)}, \quad (9)$$

$$P_7(s) = \frac{\lambda' h_1}{(s + \lambda' + \lambda' h_2)} \cdot \frac{\alpha}{(s - A)(s - B)}, \quad (10)$$

$$P_8(s) = \frac{\lambda'}{s} \cdot \frac{\lambda' h_1}{(s + \lambda' + \lambda' h_2)} \cdot \frac{\alpha}{(s - A)(s - B)}, \quad (11)$$

$$P_9(s) = \frac{\lambda' h_2}{s} \cdot \frac{\lambda' h_1}{(s + \lambda' + \lambda' h_2)} \cdot \frac{\alpha}{(s - A)(s - B)}. \quad (12)$$

식(3)과 식(4)를 역라플라스변환하면 상태확률은

$$P_0(t) = \frac{1}{B - A} [(B + \beta + \lambda' + \lambda' h_1) e^{Bt} - (A + \beta + \lambda' + \lambda' h_1) e^{At}], \quad (13)$$

$$P_1(t) = \frac{\alpha}{B - A} [e^{Bt} - e^{At}]. \quad (14)$$

식(5)를 역라플라스변환하기 위하여 이것을 부분분수로 전환해야 한다. 이 식에서 분모는 세 개의 다른 1차 인수를 가지므로 $P_2(s)$ 는 다음과 같이 놓을 수 있다:

$$P_2(s) = \frac{k_1}{s} + \frac{k_2}{s - A} + \frac{k_3}{s - B}.$$

k_1, k_2 및 k_3 를 구하기 위하여

$$\lambda(s + \beta + \lambda' + \lambda' h_1) = (s - A)(s - B) k_1 + s(s - B) k_2 + s(s - A) k_3$$

으로 놓고, 여기에 $s = 0$, $s = A$ 및 $s = B$ 를 차례로 대입하면

$$k_1 = \frac{\lambda(\beta + \lambda' + \lambda' h_1)}{AB}, \quad k_2 = \frac{\lambda(A + \beta + \lambda' + \lambda' h_1)}{A(A - B)}, \quad k_3 = \frac{\lambda(B + \beta + \lambda' + \lambda' h_1)}{B(B - A)}.$$

그러므로 식(5)는 식(15)와 같이 전환된다.

$$\begin{aligned}
P_2(s) = & \frac{\lambda(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{AB} \cdot \frac{1}{s} + \frac{\lambda(A + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{A(A-B)} \cdot \frac{1}{s-A} \\
& + \frac{\lambda(B + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{B(B-A)} \cdot \frac{1}{s-B}. \tag{15}
\end{aligned}$$

식(15)를 역라플라스변환하면 상태확률 $P_2(t)$ 는

$$P_2(t) = \frac{\lambda(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{AB} + \frac{\lambda}{B-A} \left[\frac{B + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{B} e^{Bt} - \frac{A + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{A} e^{At} \right]. \tag{16}$$

마찬가지 방법으로 식(6)부터 식(12)까지에 대한 역라플라스변환 결과들은 다음과 같다:

$$\begin{aligned}
P_3(t) = & \frac{\lambda_{h_1}(\beta - \lambda - \lambda_{h_2} + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(\lambda + \lambda_{h_2} + A)(\lambda + \lambda_{h_2} + B)} e^{-(\lambda + \lambda_{h_2})t} \\
& + \frac{\lambda_{h_1}}{B-A} \left[\frac{B + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{B + \lambda + \lambda_{h_2}} e^{Bt} - \frac{A + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{A + \lambda + \lambda_{h_2}} e^{At} \right], \tag{17}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_4(t) = & \frac{\lambda \lambda_{h_1}(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(\lambda + \lambda_{h_2})AB} + \frac{\lambda \lambda_{h_1}(\beta - \lambda - \lambda_{h_2} + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(-\lambda - \lambda_{h_2})(\lambda_{h_2} + A)(\lambda_{h_2} + B)} e^{-(\lambda + \lambda_{h_2})t} \\
& + \frac{\lambda \lambda_{h_1}}{B-A} \left[\frac{B + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{B(B + \lambda + \lambda_{h_2})} e^{Bt} - \frac{A + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}}{A(A + \lambda + \lambda_{h_2})} e^{At} \right], \tag{18}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_5(t) = & \frac{\lambda_{h_1} \lambda_{h_2}(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(\lambda + \lambda_{h_2})AB} + \frac{\lambda_{h_1} \lambda_{h_2}(\beta - \lambda - \lambda_{h_2} + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(-\lambda - \lambda_{h_1})(\lambda + \lambda_{h_2} + A)(\lambda + \lambda_{h_2} + B)} e^{-(\lambda + \lambda_{h_2})t} \\
& + \frac{\lambda_{h_1} \lambda_{h_2}(\beta - \lambda - \lambda_{h_2} + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{(-\lambda - \lambda_{h_1})(\lambda + \lambda_{h_2} + A)(\lambda + \lambda_{h_2} + B)} e^{-(\lambda + \lambda_{h_2})t}
\end{aligned}$$

$$+ \frac{\lambda_{h_1} \lambda_{h_2}}{B-A} \left[\frac{B+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}}{B(B+\lambda'+\lambda'_{h_2})} e^{Bt} - \frac{A+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}}{A(A+\lambda'+\lambda'_{h_2})} e^{At} \right], \quad (19)$$

$$P_6(t) = \frac{\alpha\lambda'}{AB} + \frac{\alpha\lambda'}{B-A} \left[\frac{e^{Bt}}{B} - \frac{e^{At}}{A} \right], \quad (20)$$

$$P_7(t) = \frac{\alpha\lambda'_{h_1}}{(\lambda'+\lambda'_{h_2}+A)(\lambda'+\lambda'_{h_2}+B)} e^{-(\lambda'+\lambda'_{h_2})t} + \frac{\alpha\lambda'_{h_1}}{B-A} \left[\frac{e^{Bt}}{B+\lambda'+\lambda'_{h_2}} - \frac{e^{At}}{A+\lambda'+\lambda'_{h_2}} \right] \quad (21)$$

$$P_8(t) = \frac{\alpha\lambda'\lambda'_{h_1}}{(\lambda'+\lambda'_{h_2})AB} + \frac{\alpha\lambda'\lambda'_{h_1}}{(-\lambda'-\lambda'_{h_2})(\lambda'+\lambda'_{h_2}+A)(\lambda'+\lambda'_{h_2}+B)} e^{-(\lambda'+\lambda'_{h_2})t} \\ + \frac{\alpha\lambda'\lambda'_{h_1}}{B-A} \left[\frac{e^{Bt}}{B(B+\lambda'+\lambda'_{h_2})} - \frac{e^{At}}{A(A+\lambda'+\lambda'_{h_2})} \right], \quad (22)$$

$$P_9(t) = \frac{\alpha\lambda'_{h_1}\lambda'_{h_2}}{(\lambda'+\lambda'_{h_2})AB} + \frac{\alpha\lambda'_{h_1}\lambda'_{h_2}}{(-\lambda'-\lambda'_{h_2})(\lambda'+\lambda'_{h_2}+A)(\lambda'+\lambda'_{h_2}+B)} e^{-(\lambda'+\lambda'_{h_2})t} \\ + \frac{\alpha\lambda'_{h_1}\lambda'_{h_2}}{B-A} \left[\frac{e^{Bt}}{B(B+\lambda'+\lambda'_{h_2})} - \frac{e^{At}}{A(A+\lambda'+\lambda'_{h_2})} \right]. \quad (23)$$

대기복합체계가 운용될 때 임의의 시간 t 에서 체계가 고장나지 않고 작동인 상태는 <그림 2>에서 상태 0, 상태 1, 상태 3 및 상태 7이다. 그러므로 이 체계의 신뢰도 $R(t)$ 는

$$R(t) = P_0(t) + P_1(t) + P_3(t) + P_7(t) \\ = \frac{1}{B-A} \left[(B+\alpha+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}) e^{Bt} - (A+\alpha+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}) e^{At} \right] \\ + \frac{\lambda_{h_1}(\beta-\lambda-\lambda_{h_2}+\lambda'+\lambda'_{h_1})}{(\lambda'+\lambda'_{h_2}+A)(\lambda'+\lambda'_{h_2}+B)} e^{-(\lambda'+\lambda'_{h_2})t} + \frac{\alpha\lambda'_{h_1}}{(\lambda'+\lambda'_{h_2}+A)(\lambda'+\lambda'_{h_2}+B)} e^{-(\lambda'+\lambda'_{h_2})t} \\ + \frac{\alpha\lambda'_{h_1}}{B-A} \left[\frac{e^{Bt}}{B+\lambda'+\lambda'_{h_2}} - \frac{e^{At}}{A+\lambda'+\lambda'_{h_2}} \right]$$

$$+ \frac{\lambda_{h_1}}{B-A} \left[\frac{B+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}}{B+\lambda+\lambda'_{h_2}} e^{Bt} - \frac{A+\beta+\lambda'+\lambda'_{h_1}}{A+\lambda+\lambda'_{h_2}} e^{At} \right]. \quad (24)$$

대기복합체계의 MTTF는 장비의 평균수명을 나타내므로 이것을 신뢰도로부터 구하면 $MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$ 이지만 라플라스변수로 계산된 신뢰도에서도 계산할 수 있다.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(\tau)d\tau = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t R(\tau)d\tau$$

라고 놓을 수 있으므로 적분함수의 라플라스변환 $\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(\tau)d\tau\right\} = \frac{f(s)}{s}$ 와 극한값함수의 라플라스변환 $\mathcal{L}\left\{\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)\right\} = \lim_{s \rightarrow 0} s f(s)$ 을 이용하면[4] MTTF를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} MTTF &= \lim_{s \rightarrow 0} s \mathcal{L}\left\{\int_0^t R(\tau)d\tau\right\} \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{R(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} R(s). \end{aligned}$$

식(24)에서 $R(s) = P_0(s) + P_1(s) + P_3(s) + P_7(s)$ 이므로 식(3), 식(4), 식(6) 및 식(10)을 여기에 대입하고 $s \rightarrow 0$ 으로부터 두면 MTTF는 다음과 같이 표시된다:

$$\begin{aligned} MTTF &= \lim_{s \rightarrow 0} R(s) \\ &= \frac{1}{AB} \left[(a + \beta + \lambda' + \lambda'_{h_1}) + \frac{\lambda_{h_1}(\beta + \lambda' + \lambda'_{h_1})}{\lambda + \lambda'_{h_2}} + \frac{\lambda'_{h_1} a}{\lambda' + \lambda'_{h_2}} \right]. \quad (25) \end{aligned}$$

2.3 수치예제

경우1 : 주임무와 보조임무를 수행하는 두 명의 조종사가 공중전투임무기동임무를 수행하는 경우 조종사 및 각 조종사의 고장률(단위시간당 평균 고장 횟수)이 기상조건에 따라 다음과 같이 주어진다고 하자.

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.05, & \lambda' &= 0.1 \\ \lambda_{k1} &= 0.01, & \lambda'_{k1} &= 0.03 \\ \lambda_{k2} &= 0.05, & \lambda'_{k2} &= 0.1 \end{aligned}$$

그리고 기상상태의 전이률을 $\alpha = 2$ 및 $\beta = 4$ 라고 하자. 이때 이 체계의 신뢰도 $R(t)$ 는 식(24)에 의하여 계산되며 그 결과는 <그림 3>에서 “○”으로 표시 되어 있다. 이 조건에서 MTTF는 식(25)에 의하여 계산되며 그 결과는 15.1 시간이다.

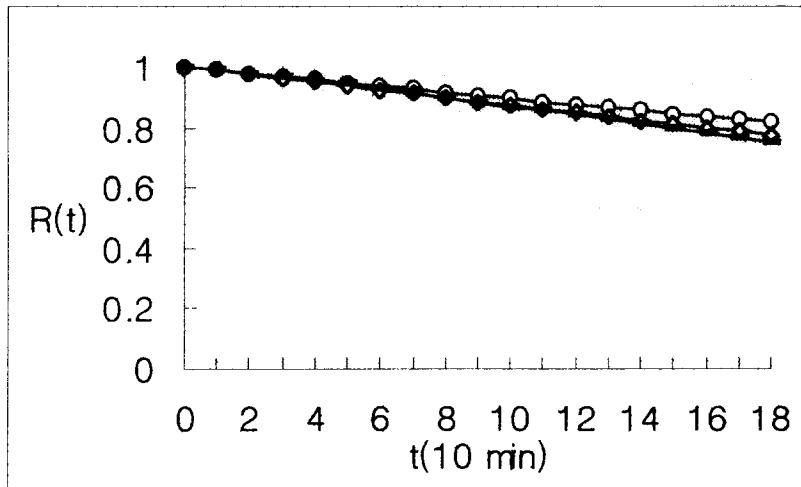
경우2 : 경우1에서 기상상태의 전이률이 $\alpha = 4$ 및 $\beta = 2$ 로 바뀌었을 때 $R(t)$ 는 <그림 3>에서 “◇”으로 표시되며, MTTF는 11.38 시간이다.

경우3 : 경우1에서 $\lambda_{k1} = 0.3$ 및 $\lambda'_{k1} = 0.6$ 으로 변화되었을 때 $R(t)$ 는 <그림 3>에서 “-”로 표시되며, MTTF는 13.43 시간이다.

3. 결 론

비행훈련이나 공중전투임무체계 등과 같이 체계가 인간-기계로 구성되어 있을 경우 체계의 신뢰도는 장비 자체의 신뢰도 뿐만 아니라 조작자의 기술수준이나 운용환경에 영향을 받을 수 있으므로 이러한 체계의 신뢰도를 계산하는 경우에는 이들 두 요소를 추가하는 것이 신뢰도의 더욱 정확한 평가를 위하여 바람직할 수 있다.

본 연구의 대상체계는 하나의 기계와 기계를 다루는 대기중복인 두 명의 운용자로 구성된 대기복합체계(standby redundancy complex system)이다. 본 연구는 이러한 체계의 운용환경이 정상기후상태와 악천후상태가 교대하고, 장비 및 인간의 고장률이 두 가지 기후조건에서 각각 다른 경우에 상태전이 다이어그램 (state transition diagram) 을 구성하여



<그림 3>

임의의 시간 t 에서 체계의 신뢰도와 고장까지의 평균시간을 계산할 수 있는 신뢰도모형을 구축하였다.

본 모형에서는 체계의 고장이 기계와 인간의 고장에 의해서 발생하고, 고장시에 수리는 불가능하며 구성요소들의 고장들은 확률적으로 상호독립이며 고장까지의 시간은 지수분포를 따른다고 가정하였다. 그러나 실제에서는 체계의 고장이 상호독립이 아닐 경우도 있으며, 구성요소들의 고장시간이 지수분포를 따르지 않을 수도 있다. 본 모형을 효과적으로 적용하기 위해서는 인간-기계체계의 특성을 잘 파악하여 장비 및 인간고장률, 기후조건변화에 대한 전이율 등 관련되는 모수들과 관련되는 분포들의 정확한 추정이 뒷받침되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. Dhillon, B. S. and Rayapati, S. N., "Stochastic Behaviour of Man-Machine System Operating under Different Weather Conditions," *Microelectron. Reliab.*, Vol. 26, No. 1, 1986, pp. 123-129.
2. Gupta, P. P., Kumar, A. and Srivastava, G. S., "Operational Behaviour of a Complex System Operating under Different Weather Conditions," *Microelectron. Reliab.*, Vol. 28, No. 4, 1988, pp. 525-529.
3. Kapur, K. C. and L. R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, 1977, p. 1.
4. 박경수, 신뢰도 공학 및 정비이론, 회중당, 서울, 1993.