Journal of the KIMST, Vol. 24, No. 4, pp. 449-456, 2021
ISSN 1598-9127(Print) · 2636-0640(Online)
DOI https://doi.org/10.9766/KIMST.2021.24.4.449

Research Paper 체계공학 부문

Impatience 특성을 고려한 군 긴급정비시스템 정비인력 최적할당 연구

김 성 우*,1)

1) 해군본부

A Study on the Optimal Allocation of Maintenance Personnel in the Military Emergency Maintenance System Considering the Property of Impatience

Sungwoo Kim*,1)

1) *The Republic of Korea Navy Headquarters*

(Received 24 March 2021 / Revised 17 May 2021 / Accepted 5 July 2021)

Abstract

Impatience characteristics are an important factor to be considered in the defense field, which is sensitive to time, but there are not many cases applied. In addition, due to the difficulty of analysis that must consider various probabilistic factors (breakdown/maintenance distribution, impatience characteristics, etc.), military decision makers consider only simple data (number of occurrences per year, maintenance time, etc.) Therefore, in this study, a model capable of analyzing the performance of the emergency maintenance system for determining the appropriate size and organization of military and civilian maintenance personnel was presented in consideration of impatience characteristics and probabilistic factors. And through numerical analysis, the appropriate size of the military and civilian emergency maintenance teams was analyzed. This study is significant in that it can improve readiness of operational power and prevent waste of defense budget through efficient operation of the military's emergency maintenance system.

Key Words : Impatience(참을성), Military Emergency Maintenance System(군긴급정비체계), Optimal Maintenance Personnel(최적정비인력)

1. 서 론

참을성 없는 고객(Impatient Customer)은 대기행렬 문제에서 잘 알려진 현상이다. 서비스를 받기위하여 은행, 콜센터, 정비공장 등 서비스 센터에 도착한 고객은 즉시적인 서비스를 받기를 원하지만 서비스 센

* Corresponding author, E-mail: navywoo@hanmail.net
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

터의 한정된 자원(주로 인력 등)으로 인하여 일정한 대기시간을 가진 후 서비스를 받게 된다. 하지만 대기시간이 길어질수록 고객은 지루함 등의 심리적 상태, 일정, 약속 등의 개인사정으로 인해 기다리는 도중에 서비스 받는 것을 포기하기도 하고, 어떤 고객은 서비스 예상시간이 길 것으로 판단되면 대기자체를 하지 않을 수도 있다. 이러한 특성을 가진 고객을 대기행렬 이론에서는 '참을성 없는 고객' 이라고 정의하며 이러한 고객의 Impatience 특성을 이탈(Reneging) 및 차단(Balking)으로 표현한다.

특히, 고객의 이탈과 차단에 관련된 특성은 타 분야에 비해 시간에 민감한 국방분야에 다양하게 적용이 가능하다. 이는 국방분야에서는 다양한 참을성 없는 고객이 존재하기 때문이다. 예를 들면 작전 중에 위험한 환경(추락, 침몰 등)에 처해 긴급구조를 요청하는 조종사. 함정 등과 고장이 발생하여 긴급 수리를 요청하는 작전 운용부대 함정, 항공기, 전차 등이 참을성 없는 고객이 될 수 있다. 이러한 특성을 고려할 때, 국방분야에 있어서 Impatience 특성의 고려가 특히 중요하다고 말할 수 있다.

한편, 군은 작전 운용 및 대기 중인 전력(함정, 항공기 등)이 고장 발생으로 인하여 작전 공백이 발생하는 기간을 최소화하고 임무상태로 즉시 전환하기 위하여 긴급정비체계를 운용하고 있다. 긴급정비체계는 긴급정비 인력이 편성되며, 특정한 기한(Impatient time) 내에 고장난 장비를 정비하는 역할을 수행하게 된다. 정비인력의 편성은 군(현역, 정비군무원)과 민간(외주 용역)으로 구성되며, 국방개혁 2.0 등에 의해 향후 군 정비인력을 확충에 제한이 있는 현실적인 상황을 고려한다면 민간과의 협업은 더욱 증대될 것으로 판단된다. 이러한 측면을 고려한다면 성공적인 긴급정비체계의 운용을 위해서는 군, 민간의 정비인력 최적 규모, 편성은 중요한 요소일 것이다. 하지만 군 의사결정권자는 다양한 확률적 요인(고장/정비 분포, Impatience 등)을 고려한 판단이 필요하지만 단순자료(연간 발생건수, 정비 시간 등)만을 고려하여 긴급 정비체계의 군, 민간 정비인력을 편성하고 있는 실정이다. 이는 군 긴급정비체계의 비효율적인 운용으로 인한 국방예산의 낭비로 이어질 개연성이 크다.

한편, 대기행렬 이론의 적용한 연구는 대부분이 고객의 대기시간 분석, 대기시간을 고려한 적정 서버의 수(서비스 팀) 결정 등에 집중되어 있다. 그리고 Impatience 고객을 고려한 대기행렬 연구는 Haight[1,2] 및 Rao[3]가 초기연구를 진행한 이후로 최근까지 다양한 연구들이 진행되고 있으며[4,5], Wang 등[6]은 Impatience 고객의 행동 패턴(Reneging, Balking)과 해법에 대하여 기술한 서베이 연구를 진행하였다. 비록 Impatient customer가 존재하는 대기행렬에 대한 연구는 고객의 지수도착, 마코비안 도착, 단계형 서비스 등 많은 연구가 진행되었지만, 일부 콜센터분야에 적용된 연구를 제외하고는 대부분 통신분야에 집중되어 있다. 국방분야에 적용된 연구를 살펴보면 Impatience 특성을 고려하여 긴급 정비시스템의 긴급 정비인력 수준에 관하여 군 정비인력을 대상으로 분석한 연구[10]와 조종사 구조를 위한 최적 작전팀 수준을 분석한 연구[11,12] 등을 제외하고는 찾아보기 힘들다. 위의 국방분야에 적용된 연구들의 모형은 Impatience의 특성을 가진 고객도착(정비요청, 구조요청)이 포아송과정으로 발생하고 서비스 시간, 차단 및 이탈이 지수분포로 발생한다고 가정하여 본 연구의 모형과 유사한 특징이 있지만, 본 연구에서 분석하고자 하는 각자 다른 특성(서비스 시간)을 가진 서버들(군 및 민간 정비인력)간의 협업(Pooling)에 대한 해법을 제시하지는 못하는 한계가 있다. 이러한 부분이 모형적인 측면에서 기존연구와의 차별성이 있다고 할 수 있다.

위의 기술된 바를 바탕으로 본 연구에서는 긴급정비체계의 군 및 민간 정비인력의 적정 규모, 편성 결정을 위하여 Impatience 특성을 고려한 긴급정비체계의 인력을 최적으로 할당할 수 있는 모델을 제시한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 긴급 정비체계 분석에 필요한 주요 이론을 정리한다. 3장에서는 긴급 정비성공확률을 최대화하기 위한 긴급정비시스템의 분석 모델을 제시한다. 그리고 4장에서는 분석 모델을 바탕으로 수치실험 및 결과를 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 긴급 정비시스템 성능

긴급 정비시스템은 작전 중인 전력에 고장이 발생하면 작전 공백의 최소화를 위해 일정 시간 안에 정비를 완료하는 체계이다. 긴급 정비시스템은 참을성 없는 고객이 있는 대기행렬 모델을 적용하여 분석할 수 있는 데, 이는 Fig. 1과 같이 고객의 도착은 긴급정비요청, 서버는 긴급정비팀, 서비스완료는 정비완료

와 동일하기 때문이다.

이러한 긴급정비시스템의 성능은 긴급정비요청이 접수되었을 때 정비인력의 부족으로 차단되지 않고, 일정한 시간 이내에 정비를 완료할 수 있는 확률이다. 이때 대기시간, 정비시간 및 정비 완료 요구 시간은 고장빈도, 정비능력, 작전환경에 의해 변화되는 확률변수이며 정비완료 요구시간을 확률변수 Y_1 및 정비완료시 까지 소요되는 시간을 Y_2라고 정의하면 Y_2는 대기시간과 정비시간의 합으로 두 확률변수의 합이 되므로 단계형 분포(Phase type Distribution)가 된다. 따라서 긴급정비시스템의 성능척도 즉, 정비성공률은 정비완료 시 까지 소요되는 시간보다 정비완료 요구시간이 짧으면 정비가 성공하는 경우이고 이는 $\min(Y_1, Y_2)$의 분포를 구하면 도출할 수 있다.

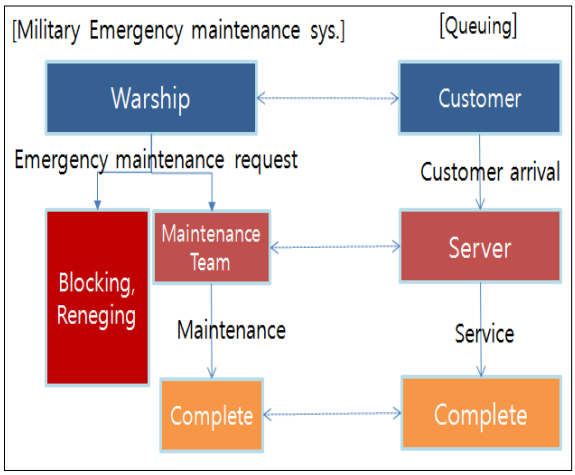

Fig. 1. Military emergency maintenance system and queuing

2.2 단계형 분포와 최소분포

단계형 분포는 도착과 서비스를 지수분포의 중합 혹은 혼합 형태로 표현가능하고 지수분포가 표현할 수 없는 다양한 분포를 근사할 수 있는 확률 분포라는 특성과 연산 알고리즘을 제공한다는 장점이 있어 최초의 연구가 진행된 이후에 다양한 확률적 현상 분석에 활용되고 있다[10].

단계형 분포는 하나의 흡수상태와 초기상태 확률을 갖는 연수시간 마코프체인이 있을 때 초기상태에서 흡수될 때 까지 걸린 시간의 분포이다. 이때 상태공간 $s=\{0,1,2,\cdots,n\}$이고 상태(state) 0은 흡수상태(Absorbing State) 및 나머지 상태공간은 일시상태(Transient State)인 흡수마코프체인이 식 (1)과 같이 구성된다고 가정하자.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \boldsymbol{a} & \boldsymbol{R} \end{bmatrix} \tag{1}$$

식 (1)에서 $\boldsymbol{a}$는 크기가 m인 열벡터로 각 일시상태에서 흡수상태로의 전이율을 의미한다. 다시 말하면 고장이 발생하거나, 서비스가 완료되는 전이율이다. $\boldsymbol{R}$는 일시상태(Transient State)에서의 전이를 나타내는 m차원의 전이율 행렬이며 고장이나 서비스가 완료되기 전에 상태공간에서의 전이율을 의미한다.

한편, τ은 초기확률로서 확률과정이 시작되는 일시상태를 나타내며 m차원 행 벡터(row vector)이며, 마코프체인의 특성상 모든 행의 합은 0이며, 초기확률의 합은 1이다. 벡터 τ에 의해 초기확률이 결정된다고 가정하면, 확률 변수 Y는 $PH(\tau, \boldsymbol{R})$로 표현된다[9].

그리고 특정 시점 t에서 확률 변수 Y가 단계형 분포를 따를 때, 분포 함수(Distribution Function)는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$1-\boldsymbol{F}(t)=\boldsymbol{\tau}\bullet e^{\boldsymbol{R}\bullet t}\bullet 1 \tag{2}$$

이때, 1은 모든 원소가 1인 합 벡터(Sum Vector)를 의미하고, 식 (2)와 $-\boldsymbol{R}\bullet 1=\boldsymbol{a}$ 라는 사실을 활용하면 단계형 확률 분포의 확률밀도함수(Probability Density Function)는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\boldsymbol{f}(t)=\boldsymbol{\tau}\bullet e^{\boldsymbol{R}\bullet t}\bullet \boldsymbol{a} \tag{3}$$

일시상태에서 흡수상태로 전이되는 전이율 벡터를 각각 $\boldsymbol{a_1}, \boldsymbol{a_2}$ 및 두 확률변수 Y_1, Y_2가 서로 독립이며 각각 $(\boldsymbol{\tau_1}, \boldsymbol{R_1})$, $(\boldsymbol{\tau_2}, \boldsymbol{R_2})$인 단계형 분포를 따른다고 정의하면 정비성공확률인 $\Pr[Y_1 > Y_2]$는 식 (4)와 같이 유도된다[8].

$$\Pr[Y_1 > Y_2]=\int_0^{\infty}\Pr[Y_1 > t]\bullet f_{Y_2}(t)dt \tag{4}$$

$f_{Y_2}(t)$에 식 (3)을 대입하고 Kronecker 곱과 합의 특성을 이용하여 정리하면 식 (4)는 식 (5)와 같이 유도할 수 있다.

$$\Pr[Y_1 > Y_2] = -(\tau_1 \otimes \tau_2)(T_1 \oplus T_2)^{-1}(1 \otimes \alpha_2) \quad (5)$$

$\otimes, \oplus$는 Kronecker 곱과 합을 나타내는 기호이며, Graham[11]의 연구에서 Kronecker의 정의 및 특성을 기술하였다.

한편, 본 연구와 같은 참을성 없는 고객의 $m/m/c$ 대기행렬 모형에서 λ를 고객 도착률, γ를 참을성 분포(Impatience rate), μ를 서비스율, P_c를 C 서버에 고객이 있을 확률이라고 정의하면, 이탈(Reneging) 및 차단(Blocking)되는 고객의 분포는 지수분포를 따르며 식 (6)과 같이 표현된다[12].

$$\lambda' = (\lambda \cdot \gamma(1-P_c)/(\mu+\gamma)) + \gamma \cdot P_c \quad (6)$$

3. 긴급정비시스템 분석모델

본 연구에서는 긴급정비체계의 군 및 민간 정비인력의 적정 규모, 편성 결정을 위하여 Impatience 특성을 고려한 긴급정비체계의 성능분석 모델을 제시한다. 긴급정비체계의 성능분석 모델은 민간인력(외주용역)이 군(현역, 군무원) 긴급정비체계에 포함되어 협업하는 모델(이하 A모델)과 군 긴급정비체계에서 우선 정비를 실시하고 여력부족 등으로 민간인력(외주용역)이 협업하는 모델(이하 B) 2가지로 구분하여 분석 모형을 제시한다.

3.1 연구모형의 가정

본 연구모형의 주요 가정은 다음과 같다.

첫째, 긴급 정비가 요구되는 주요 장비의 고장 발생률은 포아송 과정(Poisson Process)로 발생한다. 둘째, 긴급 정비시간은 정비량, 정비 난이도에 따라 결정되고 지수분포를 따른다. 셋째, 정비 완료 요구 시간은 중요성 및 종류, 작전 환경 등에 따라 결정되어 지수분포를 따른다. 넷째, 이탈 및 차단되는 고객의 분포는 고객발생이 포아송 과정, 서비스가 지수분포인 $m/m/c$ 모델에서 지수분포를 따른다. 그리고 본 연구의 모형은 다음과 같은 기호를 사용한다. 긴급 정비 요청 도착률(Arrival rate)을 λ, 긴급 정비 서비스율(Service rate)을 μ, 정비 완료 요구율(Impatient rate)을 γ. 그리고 군 및 민간 긴급 정비팀 수(Server)를 c_1, c_2로 표현하였다.

3.2 분석모델

군에서 긴급 정비시스템을 운용할 때, 고장난 장비의 특성을 고려하기 위하여 모델 A와 모델 B를 구분하여 분석을 실시하였다. 모델 A와 모델 B를 구분하는 이유는 고장난 장비가 작전전력의 보안구역(민간인이 출입이 금지된 구역) 이외에 위치하고 있으면 군과 민간 인력이 협업하여 긴급정비를 실시하면 되지만, 보안구역 내의 위치한 장비에 고장이 발생하게 되면 군 긴급정비인력이 우선 정비를 실시하고 군 긴급정비인력의 여력 부족 등으로 요구시간 내에 정비를 실시하지 못하는 경우에는 장비를 보안구역에서 일반구역으로 이동시켜 민간 긴급정비팀이 정비를 실시하여야 하기 때문이다.

3.2.1 모델 A : 민간인력이 군 긴급정비체계에 포함된 모형

모델 A 시의 긴급정비팀 운용은 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다. 작전 전력에서 포아송 과정으로 장비고장(λ)이 발생하면 군 정비팀과 민간 정비팀이 협업하여 지수분포(μ)로 정비를 실시하게 되고 정비를 완료해야 되는 시간은 γ의 이탈율을 가지는 지수분포를 따르게 된다.

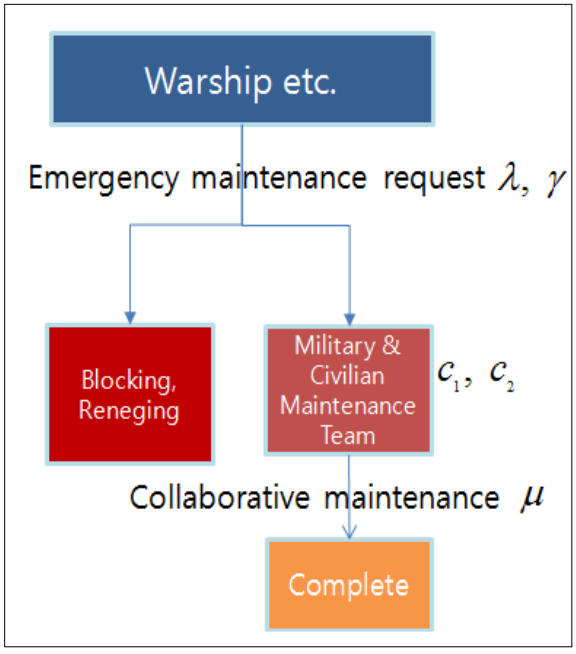

Fig. 2. Emergency maintenance concept of model A

전이율 행렬을 구성하기 위한 상태(State)는 1차원(긴급 정비 요구 수)으로 구성하였다. Fig. 3은 군 긴급정비팀 c_1이 3인 경우와 민간 정비팀 c_2가 2인 경우이다. Fig. 3은 민간 정비팀이 군 긴급정비체계에 포함되어 있고, 서비스률이 동일하기 때문에 모델 A의 경우는 전체 정비팀이 c가 5인 경우의 Impatient 고객이 있는 m/m/c 모델과 동일하게 된다.

상태 0에서 1로의 전이는 긴급 정비 요청률이 λ로 발생한 상태이고, 상태 3에서 2로의 전이는 $3\mu+3\gamma$로 발생하게 된다. 그리고 상태 5에서 긴급 정비 요청이 발생하게 되면 긴급 정비요청을 받을 수 없으므로 차단(Blocking)이 되어 긴급정비를 실패하게 된다.

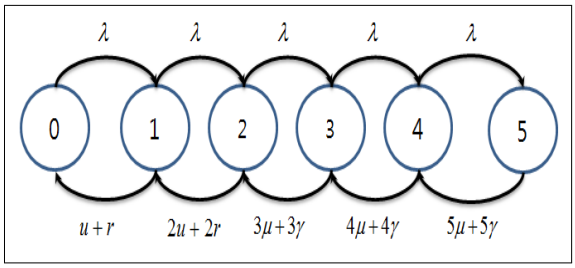

Fig. 3. Diagram of model A(C = 5)

그리고 요청된 긴급 정비 건에 대하여 각 상태에서 정비를 하면서 요구된 시간에 완료하지 못하면 이탈(Reneging)되어 역시 긴급정비를 실패하게 된다. 이때 i의 긴급 정비요청 건이 있을 때 긴급 정비를 성공할 확률을 P_i^s로 표현하면 긴급 정비요청이 차단될 확률(Blocking Probability)은 모든 긴급정비팀의 정비를 수행 중일 때 긴급 정비요청이 발생될 경우이므로 P_c^s가 된다. 요구된 시간에 긴급 정비를 완료하지 못할 확률(Reneging Rate)은 정비완료 요구시간 Y_1보다 긴급 정비가 완료 될 때까지 걸린 시간 Y_2(대기시간 + 정비시간)가 클 경우의 확률이며 식 (7)과 같이 표현된다.

$$P_i^s = \Pr[Y_1 > Y_2] \tag{7}$$

확률 변수 Y_1 및 Y_2는 단계형 확률 변수 $Y_1 \sim PH(\tau_1, T_1)$ 및 $Y_2 \sim PH(\tau_2, T_2)$로 표현할 수 있다. γ_1, T_1은 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\tau_1 = 1, \quad T_1 = -\gamma \tag{8}$$

γ_2, T_2는 긴급 정비 요청이 발생했을 때, 이미 요청된 정비건 i와 c에 따라 상이하게 구성된다. c = 5일 때, i < 5인 경우는 식 (9)와 같다.

$$\tau_2 = 1, \ a_2 = \mu, \ T_2 = -\mu \tag{9}$$

식 (9)는 긴급 정비요청이 긴급정비팀이 여유가 있을 때 발생하였으므로 대기 시간 없이 정비를 받을 수 있는 것을 의미한다.

i = 5인 경우는 식 (10)과 같다.

$$\tau_2 = (0,\ 1,\ 0)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \mu \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\mu & 0 & 0 \\ 5\mu+5\gamma & -5\mu-5\gamma & 0 \end{bmatrix}$$

(: 흡수벡터($\boldsymbol{a_2}$), : T_2) (10)

식 (10)는 정비건수가 5인 긴급 정비요청이 발생할 경우 바로 정비를 받지 못하고 $5\mu+5\gamma$ 만큼 대기 후 정비를 받게 되는 것을 의미한다.

식 (8), 식 (9)에 제시된 수치로 식 (5)를 활용하면 i건의 정비요청 건수가 있을 때 긴급정비를 성공할 확률인 P_i^s를 구할 수 있으며, 전체 긴급정비시스템의 성공확률은 식 (11)로 표현할 수 있다.

$$P = \sum_{i=0}^{c-1} P_i^s \tag{11}$$

3.2.2 모델 B : 군 긴급정비 인력 우선 정비 모형

모델 B 시의 긴급정비팀 운용은 Fig. 4와 같이 표현할 수 있다.

작전 전력에서 포아송 과정으로 장비고장(λ)이 발생하면 군 정비팀과 민간 정비팀이 협업하여 지수분포(μ)로 정비를 실시하게 되고 정비를 완료해야 되는 시간은 γ의 이탈율을 가지는 지수분포를 따르게 된다. 포아송 과정의 장비고장이 발생하면 군 긴급정비팀이 지수분포(μ)로 우선 정비를 실시하고, 긴급 정비를 실패한 경우 민간 긴급정비팀으로 전달되기 때문에 민간 긴급정비팀이 담당해야 될 정비요청률, 완료해야 되는 시간이 달라지게 된다. 즉 이탈, 차단 등으로 정비를 실패한 확률분포로 정비요청률이 발생하게 된다. 이때의 정비요청률은 식 (6)을 통하여 도출할 수 있다.

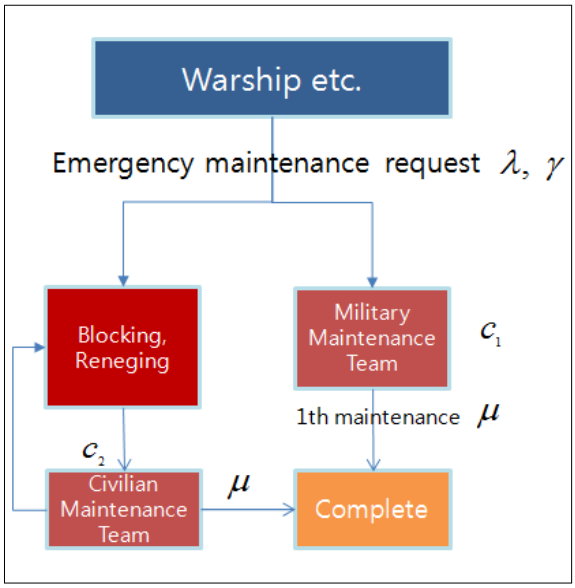

Fig. 4. Emergency maintenance concept of model B

전이율행렬을 구성하기 위한 모델 A와 동일하게 상태(State)는 1차원 (긴급 정비 요구 수) 으로 구성하였다. Fig. 5는 군 긴급정비팀 c_1이 4인 경우와 민간 정비팀이 c_2이 3인 경우이다. 군 긴급정비체계와 민간 긴급정비체계가 각각의 정비팀으로 으로 운영되는 것을 알 수 있다.

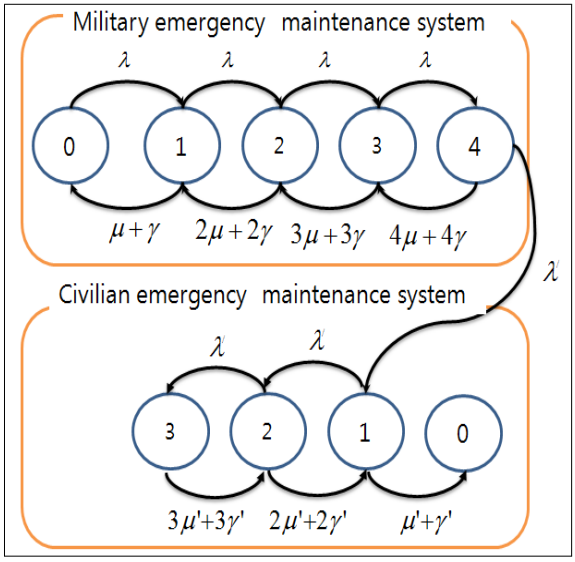

Fig. 5. Diagram of model B(c_1 = 4, c_2 = 3)

군 및 민간 긴급정비시스템에 i의 긴급 정비요청 건이 있을 때 긴급 정비를 성공할 확률을 각각 P_j^{ms} 및 P_j^{cs}로 표현하면 긴급 정비요청이 차단될 확률(Blocking Probability)은 모든 긴급정비팀의 정비를 수행 중일 때 긴급 정비요청이 발생될 경우이므로 $P_{c_1}^{ms}$ 및 $P_{c_2}^{cs}$가 된다.

각 정비시스템에서 i의 긴급 정비요청 건이 있을 때 정비요구기간 이내에 정비를 받지 못할 확률(Reneging Probability)는 식 (7) ~ (9)를 통하여 산출할 수 있다. 그리고 i건의 정비요청 건수가 있을 때 군 및 민간의 긴급정비시스템이 긴급정비를 성공할 확률인 $P_{c_1}^{ms}$ 및 $P_{c_2}^{cs}$는 식 (5)를 통하여 구할 수 있으며, 각각의 긴급 정비시스템의 성공확률을 P_1 및 P_2로 하면 식 (11)로 도출할 수 있다. 그리고 모델 B의 전체 긴급정비 성공확률은 식 (12)로 표현할 수 있다.

$$P = 1-(1-P_1)\times(1-P_2) \tag{12}$$

식 (12)는 군 및 민간 긴급정비시스템 모두 긴급정비를 실패할 확률에서 1을 뺀 값이 전체 긴급 정비의 성공확률이 된다는 의미이다.

4. 수치실험 및 결과분석

4.1. 실험조건

본 연구의 실험에서는 Matlab 2014a를 활용하여 분석 하였으며, 주요 수치는 의미 있는 결과 도출을 위해 긴급 정비특징을 최대한 고려한 모수 값을 사용했다.

4.2 모델 A 분석결과

Table 1은 작전 운용 중 긴급 정비 발생률 λ = 2, 서비스율 μ = 0.5, 정비 완료 요구률을 γ = 0.12으로 설정하여 긴급 정비팀의 변화에 따른 긴급 정비 성공확률을 분석한 것이다. 긴급 정비팀의 수준 증가에 따라 긴급 정비 성공 확률이 안정화(Stable)됨을 알 수 있다. 이는 차단확률은 정비팀이 증가할수록 차단확률은 줄어들게 되지만 이탈 확률의 감소폭은 서비스율과 정비 완료 요구률에 기인하여 발생하기 때문이다. 그리고 이탈 확률은 정비팀의 수준 증가에 따라 발생

폭이 미미하게 증가하게 되는 데 이는 차단확률이 줄어듬에 따라 시스템의 정비 수행이 증가하고 정비 완료 요구시간은 각 정비팀의 서비스율에 많은 영향을 받기 때문이다.

Table 1. Success probability of emergency maintenance according to server change

# of Server)	Success Probability	Reneging Probability	Blocking Probability
3	0.2606	0.0579	0.6815
4	0.3418	0.0759	0.5823
5	0.4190	0.0931	0.4879
6	0.4913	0.1001	0.4086
7	0.5577	0.1239	0.3184
8	0.6172	0.1372	0.2456
9	0.6686	0.1486	0.1828
10	0.7119	0.1582	0.1299
11	0.7256	0.1672	0.1072

Table 1의 결과를 바탕으로 군 의사결정권자는 목표 정비확률에 따라 긴급 정비팀 수를 결정할 수 있을 것이며, 이 중 군 긴급 정비팀의 수를 고려하여 민간 긴급 정비팀의 수를 결정할 수 있을 것이다. 예로 목표 긴급 정비성공률을 60 %로 설정하고 현재 정비팀의 수가 4로 결정되어 있다면 민간 정비팀의 수는 4로 하는 것이 최적일 것이다.

4.3 모델 B 분석결과

모델 B의 군 정비시스템의 모수 값은 분석 값의 이해를 돕기 위해 모델 A의 모수 값을 이용하여 분석하였고 결과는 Table 1과 동일하다. Table 2는 군 긴급정비시스템에서 이탈 및 차단된 정비건에 대하여 민간 정비시스템에서 서비스하는 특성을 고려하여 작전 운용 중 긴급 정비 발생률 $\lambda' = 1.44$, 서비스율 $\mu = 0.1$, 정비 완료 요구률을 $\gamma = 0.33$으로 설정하여 긴급 정비팀의 변화에 따른 긴급 정비 성공확률을 분석한 것이다. 서버의 수가 증가할수록 약 23 %의 안정확태 확률을 갖는 것을 알 수 있다.

Table 2. Success probability of civilian emergency maintenance according to server change

# of Server	Success Probability	Reneging Probability	Blocking Probability
3	0.0232	0.6256	0.3512
4	0.1419	0.6522	0.2059
5	0.1863	0.6812	0.1325
6	0.2143	0.7144	0.0712
7	0.2232	0.7441	0.0327
8	0.2277	0.7589	0.0134

위의 도출된 결과와 식 (12)을 바탕으로 분석한 모델 B의 정비성공확률 결과는 Table 3과 같다. Table 3과 동일한 방식으로 군과 민간 긴급정비팀의 수를 자료를 바탕으로 다양한 분석이 가능할 것이다.

Table 3. Success probability of model A($c_1 = 6$)

# of Server	# of civilian Server	Success Probability
6	3	0.5200
	4	0.5784
	5	0.6002
	6	0.6139
	7	0.6183

Table 3의 결과를 바탕으로 군 의사결정권자는 목표 정비성공확률을 기준으로 민간 긴급정비팀의 수를 결정할 수 있을 것이다. 만약 군 긴급정비팀의 수가 6, 목표 정비성공확률이 60 %라고 설정한다면 최적 민간 긴급 정비팀의 수는 5가 될 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 Impatience 특성이 타 분야에 비해 상대적으로 시간에 국방분야에 중요하고, 특히 긴급정

비체계에 민간 인력과의 협업이 증대되는 상황을 고려하여 긴급정비체계의 군 및 민간 정비인력의 적정 규모, 편성 결정을 위한 긴급정비체계의 성능분석 모델을 제시하였고 수치분석을 통하여 군과 민간 긴급정비팀의 적정 규모를 분석하였다. 이러한 연구는 군 의사결정권자에게 긴급정비체계의 목표성능을 만족할 수 있는 군과 민간 인력의 적정 규모 산정을 통하여 작전전력의 전비태세(Readiness) 향상은 물론 군 정비예산을 효율적으로 사용하기 위한 중요한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

References

[1] F. Haight, “Queueing with Balking,” Biometrika, Vol. 44, pp. 370-369, 1957.

[2] F. Haight, “Queueing with Reneging,” Metrika, Vol. 2, pp. 186-197, 1959.

[3] R. Righter, “Optimal Polices for Scheduling Repairs and Allocating Heterogeneous Servers,” Journal of Applied Probability, Vol. 33, pp. 536-547, 1996.

[4] Y. Satin, A. Zeifman, A. Sipin and S. I. Ammar, “On Probability Characteristics for a Class of Queueing Models with Impatient Customers,” Journal of Mathematics, Vol. 8, pp. 594-609, 2020.

[5] E. Danilyuk, S. Mosiseeva and J. Sztrik, “Asymptotic Analysis of Retrial Queueing System M/M/1 with Impatient Customers, Collisions and Unreliable Server,” Journal of Mathematics & Physics, Vol. 13, pp. 218-230, 2020.

[6] K. Wang, N. Li, and A. Jiang, “Queueing System with Impatient Customers: a Review,” Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, pp. 82-87, 2010.

[7] S. W. Kim and B. K. Yoon, “An Analysis on the Number of Maintenance Personnel in the Emergency Maintenance System with Deadline,” Journal of Korea Logistics Society, Vol. 23, pp. 69-80, 2015.

[8] J. Y. Kim, and B. K. Yoon, “An Optimal Mission Allocation for CSAR Team Using M/M/c/K Queue with Impatient Customers,” Journal of Defense Technology, Vol. 3, pp. 115-128, 2010.

[9] S. W. Kim and B. K. Yoon, “A Study on the Optimal Allocation of Maintenance Personnel in the Naval Ship Maintenance System,” Journal of Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, pp. 1853-1862, 2015.

[10] B. K. Yoon, “Phase-type Stochastic Process and its Application in Defense Area,” Journal of Defense Science and Technology, Vol. 1, pp. 14-26, 2008.

[11] A. Graham, Kronecker Products and Matrix Calculus with Applications, John and Sons, 1981.

[12] P. Medhi and A. Choudhurt, “Reneging in Queues without Waiting Space,” Journal of Natural and Social Sciences, Vol. 1(3), pp. 111-124, 2013.