

# 다중서버 큐잉 모델을 이용한 공중급유기 지상 대기시간 적응적 제어 기법<sup>☆</sup>

## Adaptive Control Scheme of Air Tanker Ground Waiting Time Based on a Multi-Server Queuing Model

손 용 식<sup>1</sup>                      정 중 문<sup>1,2\*</sup>  
Yong-Sik Sohn              Jong-Moon Chung

### 요 약

본 논문은 공중급유기의 지상 대기시간을 최소화 하기 위해서 단일서버와 다중서버 환경에서 대기시간을 산출하는 대기행렬, 즉, Queuing 이론을 연구에 활용하였다. 국가의 예산과 자원은 한정되어 있어 군수지원 서비스팀의 무한한 증가는 제한되는 환경이다. 따라서 전시 준비단계 또는 전시 환경에 따라 지상 대기시간을 적응적으로 제어할 수 있는 군수지원 서비스팀 수량을 산출하였다. 본 연구의 결과는 공군의 공중급유기 군수지원 서비스팀의 최적 수량을 산출할 수 있는 명문화된 기준을 제공함으로써, 군수지휘관이 평시에서 전시까지 각 단계별로 군수지원 서비스팀을 할당할 수 있는 근거를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

☞ 주제어 : 공중급유기, 대기행렬 이론, M/G/c, M/M/c, 군수지원

### ABSTRACT

This paper, in order to minimize the ground waiting time of an Air tanker, the queuing theory, that is, a queue that calculates the waiting time under single-server and multi-server situations, was used in the study. Since the national budget and resources are limited, the unlimited increase of the logistics support service team is limited. Therefore, the number of logistic support service teams that can adaptively control the ground waiting time according to the wartime preparation stage or war environment was calculated. The results of this study provide a stipulated standard for calculating the optimal number of air tanker logistic support service teams of the Air Force, providing a basis for the logistical commander to assign logistic support service teams to each stage from peacetime to wartime.

☞ keyword : Air Tanker, Queuing, M/G/c, M/M/c, Logistic Support

## 1. 서 론

연일 언론에서는 북한의 ICBM, SLBM, 극초음속 미사일, 철도기동 미사일 발사 내용을 공개하며 한반도 남북관계의 냉각상황을 전달하고 있다. 단순 미사일 발사로 간과하기에는 우려되는 부분이 남아있다.

북한에서 비공개적으로 개발하고 있는 핵무기와 생물학적 무기가 언제든지 미사일을 추진체 삼아 우리나라와 우방국에 대한 공격을 시도할 수 있기 때문이다. 북한의 대량살상무기를 사용하려는 징후가 포착된다면 해당무기를 사용하기 전에 무력화시키는 킬 체인이 북한의 핵 위협에 대응하고 있다. 고성능 전투기와 정밀타격 수단인 유도무기로 이루어진 첨단 항공무기체계는 공군력을 필수요소로 반영하고 있는 현대전 뿐만 아니라 미래전에서도 중요도가 부각되고 있다. 하지만, 유도무기가 전투기에 많이 장착될수록 행동반경이 줄어들고 한국방공식별구역인 영공을 지키는데 제한사항이 발생하게 된다. 이러한 제한사항을 해결하기 위해 한국공군에 공중급유기 도입되어 전략자산으로서의 가치를 입증하고 있다. 전투기에 많은 유도무기를 장착하여도 공중에서 재급유가 이루어지면 체공시간과 행동반경이 획기적

<sup>1</sup> Department of Defense Fusion Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Republic of Korea.

<sup>2</sup> School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Republic of Korea.

\* Corresponding author (jmc@yonsei.ac.kr)

[Received 4 July 2022, Reviewed 26 July 2022(R2 16 September 2022, Accepted 4 October 2022)]

☆ This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) Grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport under Grant RS-2022-00143782, of the Republic of Korea.

☆ 본 논문은 2022년도 한국인터넷정보학회 춘계학술대회 우수 논문 추천에 따라 확장 및 수정된 논문임.

으로 늘어나 전락환경과 전쟁수행방식에 긍정적인 변화를 가져왔다. 공중급유기는 공중급유 임무를 완수하고 나면 기지로 귀환하여 지상장비로부터 식별된 결함을 정비인력을 활용하여 정비하고 교체가 필요한 수리부속에 대해서는 탈거도 이루어지고 있다. 정비가 이루어지고 있는 공중급유기 외 다른 공중급유기도 정비를 받기 위해 대기하게 되는데 북한의 공격정후가 보이거나, 전시에는 지상대기 시간을 최소화해야만 한다. 이 문제를 해결하기 위하여 다중서버 큐잉 모델을 활용하여 공중급유기가 지상에서 대기하는 시간을 환경에 따라 적응적으로 제어하는 방법을 연구하고자 한다. 본 논문의 연구범위는 공중급유기의 지상에서 대기하는 시간을 최소화하고 효율적으로 제어하기 위하여 대기행렬 이론인 큐잉 모델을 활용한다. 큐잉 모델은 대기하고 있는 고객에 대해서 단일서버, 다중서버일 경우를 구분하여 시스템 전체에서의 고객 대기시간, 대기행렬 내에서의 고객 대기시간, 시스템 전체에서의 고객수, 대기행렬 내에서의 고객수를 산출할 수 있다. 산출된 값을 기준으로 단일서버 대비 다중서버의 장단점 판단이 가능하다. 실제로 공중급유기를 운영하는 상황에서도 평시단계, 전시 준비단계, 전시단계 등 다양한 환경으로 인해 발생할 수 있는 문제점을 식별하고 각각의 환경에 따라 적응적으로 제어할 수 있는 최적의 군수지원 서비스팀의 수를 도출하여 비교 및 분석한다. 그에 따른 각종 환경별 적응적 제어가 가능한 최적의 군수지원 서비스팀의 수를 제안하고 성능에 대해 비교 및 분석하여 입증하려고 한다.

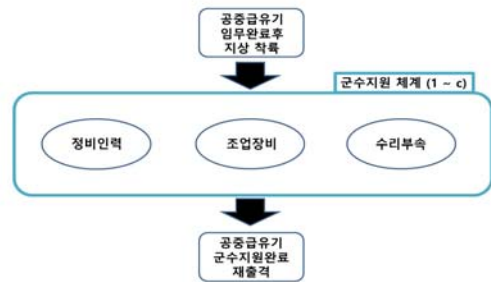
## 2. 배경지식

### 2.1 공중급유기 지상 대기시간 분석

공중급유기에 대한 공군의 군수지원체계는 정비지원과 보급지원 크게 두 개로 구분되어 있다. 정비지원 분야에 대해서 먼저 살펴보면 항공기 기체, 기관, 항공전자분야 등 정비영역별로 종류가 구분 되어지고, 정비능력에 따라 창 정비, 부대정비, 야전정비로 나누어 볼 수 있다. 정비분야가 세분화 되어있는 만큼 적정 능력을 갖춘 정비사가 다양한 영역에서 적당한 인원이 필요하다. 공중급유기는 MRTT(Multi Role Tanker Transporter)로서 공중급유 임무뿐만 아니라 다목적 수송기로서의 임무도 수행중이다. 그로 인해 다양한 임무를 복합적으로 수행하고 있고 그에 따른 여러 가지 지상지원 장비도 정비수행시 반드시

필요하다. 공중급유기와 관련된 보급지원 분야는 항공기 수리부속 획득 및 지원과 체트유 지원으로 구분되나 본 연구에서는 항공기 수리부속획득 및 지원에 대해서만 다루고자 한다.

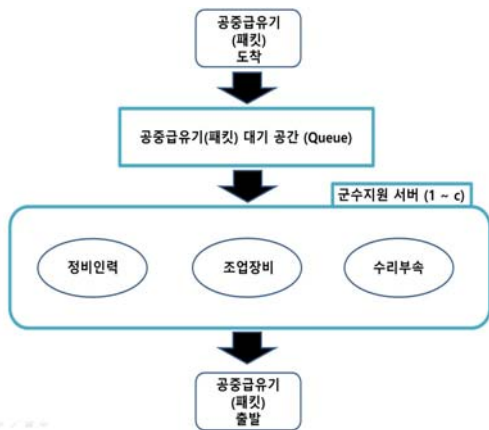
그림 1과 같이 공중급유기가 공중급유 임무를 완료 후 착륙하게 되면 정비인력, 지상지원 장비, 수리부속 등으로 구성된 군수지원체계로부터 서비스 받아 재출격 할 수 있게 된다.



(그림 1) 공중급유기 군수지원 체계 구성도  
(Figure 1) Air tanker logistics support system

고도의 기술이 집약된 항공기는 타군의 장비보다 결함의 난이도가 높고 신중하게 결함을 해결하기 위해 고장탐구에 소요되는 시간도 많은 편이다. 고장탐구에 필요한 장비의 운용을 위해서는 정비인력의 높은 전문성도 요구되고 있다. 하나의 군수지원 서비스팀은 첫 번째 부대정비와 야전정비를 수행하는 정비사, 두 번째, 급유계통, 항전계통, 기체, 기관 등 공중급유기의 수리부속을 해외의 제작사에서 확보하여 정비사에게 보급하는 품목관리관, 세 번째, 항공기의 지상이동, 하이드런트 급유 등 지상조업시 필요한 장비를 운용하는 장비운용관이 팀으로 구성되어 있다. 하나의 군수지원 서비스팀이 운영된다고 가정시 공중급유기가 군수지원 서비스를 받기 위해 착륙하였지만 이미 군수지원 서비스를 받고 있는 공중급유기가 존재하게 되면 대기할 수 밖에 없다. 공중급유기 보유대수 만큼 군수지원 서비스팀이 존재하면 대기시간이 필요없이 바로 군수지원 서비스를 받게 되므로 더할 나위 없이 좋지만, 정비사와 품목관리관 등 인력비와 급유 디스펜서카 등 지상 조업장비를 모두 획득 해야하므로 제한된 국방예산으로는 한계가 존재하게 된다. 국방예산은 크게 군사력 건설 및 유지에 소요되는 장비, 물자 등의 최초 획득 또는 기존 장비의 성능개량 및 상태유지, 노후교체를 위해 투입되는 방위력개선비와 부대 임무수행에 필요한 편제상의 인력,

장비 등을 정상상태로 운용하는데 필요한 전력운영비로 구분된다. 정부제정 대비 방위력개선비와 전력운영비를 포함한 국방비의 비율은 2017년 14.7%에서 2021년 13.95%로 매년 줄어들고 있는 것이 현실이다. 2021년도 공군의 전력운영비는 5조 5477억원이고 22-26 국방중기 계획 반영안에 따르면 2026년 6조 970억으로 다행히 증가하는 추세지만 육군의 전력운영비는 2021년 18조 1298억원, 2026년 22조 8917억원으로 고가의 첨단 무기체계 운용을 위한 공군의 군수 예산은 제한적인 환경이 자명하다. 따라서 국방예산의 제한된 범위내 효율적인 군수지원을 하기 위해서는 적정 서비스팀이 운영되어야 한다. 서비스팀이 유휴기간이 아닌 경우에는 부득이하게 공중급유기는 대기열 속에 존재할 수 밖에 없다. 대기열 속에 존재하는 공중급유기의 대수와 시간을 최소화 하기 위해서 적정 군수 지원 서비스팀의 수를 도출하고자 한다. 공군 지휘관이 군수지원 체계에 정비인력과 항공기 수리부속, 지상지원 장비를 최적화하여 할당할 수 있는 명문화된 근거가 없는 상태이기도 한다. 적정 군수지원 서비스팀의 수량이 명문화 되지 않을 경우 각종 환경에 따라 정비인력과 지상지원 장비를 재배치하고 재배치된 정비인력에 대한 직무교육을 실시하는 등 불필요한 자원의 낭비가 발생할 수 있다. 초도 운영단계인 공중급유기의 불확실한 결함 발생률은 지휘관에게 정비인력과 항공기 수리부속, 지상지원 장비의 배치를 최적화하는데 판단을 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 공중급유기 군수지원체계의 특성을 고려하여 군수지원 서비스팀을 최적화하여 배치할 수 있는 모델을 제안한다.



(그림 2) 대기행렬 이론 적용 공중급유기 군수지원 (Figure 2) Logistics support for Air tanker applying queuing theory

## 2.2 Queuing Theory

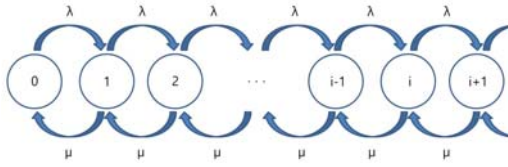
Queuing은 그림 2와 같이 서비스 대상인 패킷은 도착패턴에 따라 Queue에 도착 후, 일정시간( $T_Q$ )을 보내게 된다. Server에 서비스 시간( $T_s$ )가 지나면 패킷은 시스템을 이탈하게 된다. 도착율은 단위시간당 도착하는 평균고객수로서 평균 도착간격의 역수이다. 고객들이 필요로 하는 서비스의 양은 고객에 의해서 결정되기도 하고 서버에 의해서 결정된다. 서비스율은 단위시간당 하나의 서버가 서비스를 통해서 내보낼 수 있는 평균 고객수이다. 이는 평균 서비스 시간의 역수이다.

대기행렬 시스템이란 고객들이 한 줄로 서서 기다리는 단수행렬 시스템을 일컫는다. 상황에 따라서는 고객들이 여러줄의 대기행렬을 구성하는 경우도 있다. 이러한 경우를 복수행렬 시스템이라고 한다. 서버 한 대가 여러 대기행렬들을 돌아가면서 서비스하는 복수행렬 시스템도 있다. 개별적인 대기행렬시스템들이 연결되어 구성하는 시스템을 대기행렬 네트워크라고 부른다.

대기행렬은 Kendall 표기법에 따라 Arrival process / Service time / Servers / Max occupancy로 구분하여 표현되며, Arrival process는 도착간격 시간(도착비율  $\lambda = 1 / E(\tau)$ )을 의미하고, Service time은 서비스 시간(서비스 비율  $\mu = 1 / E(S)$ )을 의미한다. Number of servers는 서버들의 수를 의미하고, Max occupancy는 최대수용 가능 고객 수를 의미한다.

(표 1) 지수분포/일반분포 단일서버, 다중서버 행렬 분석 (Table 1) Exponential distribution/General distribution Single-server, multi-server matrix analysis

구 분	장 점	단 점
단일서버 / 다중서버	하나 이상의 서버가 점유중일 때, 패킷이 도착하면 유휴서버에서 서비스를 받을 수 있어 Queue 대기시간 단축	도착시간과 서비스 시간은 상호 독립적이며, 도착 패킷들은 서비스 대기로 Queue 대기시간 증가
지수분포 / 일반분포	일반분포는 미래가 과거의 영향을 받아 잔여 서비스 시간이 기존 서비스 양에 종속	지수분포는 Markov에 따라 미래가 과거에 종속되지 않는 망각성 갖는 연속확률분포로 확률모형에 주로 활용



(그림 3) 단일서버 행렬의 상태전이도

(Figure 3) State transition diagram of single server matrix

2.2.1 지수분포 서비스시간 단일서버 행렬(M/M/1)

서버의 개수가 1개인 지수분포 서비스시간 단일서버는 그림 3과 같이 λ의 도착비율로 패킷들이 시스템에 들어오고 있다. 패킷에게 서비스되는 비율은 μ로 표기한다. 도착비율과 서비스처리 비율은 상호 독립적이며 도착한 패킷들은 Queue에서 서비스를 대기하게 된다. 고객 한 명에게 걸리는 서비스율은 수식(1)과 같이 표현할 수 있고 ρ라고 정의한다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{1}$$

만약 ρ < 1 이면, μ < λ 이다. 상태확률 P<sub>n</sub>은 모두 양수이고 그 합은 1로 수렴된다. 수식은 (2)와 같다.

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \tag{2}$$

시스템 내에 패킷 n이 k개 이상 있을 확률은 P(n ≥ k)는 시스템 내에 패킷이 존재하는 전체 확률 P(n ≥ 0)에서 시스템 내에 패킷 n이 k-1개 있을 확률 P(n ≤ k-1)을 감한 값과 같다. 수식은 (3)과 같다.

$$P(n \geq k) = P(n \geq 0) - P(n \leq k-1) = 1 - P(n \leq k-1) \tag{3}$$

시스템 내에 0명이 있을 확률에서 k-1명이 있을 확률 값까지 모두 더하면 1 - ρ<sup>k</sup> 값이 도출됨을 다음과 같이 알 수 있다.

0	1 - ρ
1	ρ - ρ <sup>2</sup>
2	ρ <sup>2</sup> - ρ <sup>3</sup>
⋮	⋮
k-1	ρ <sup>k-1</sup> - ρ <sup>k</sup>
	1 - ρ <sup>k</sup>

따라서 수식(3)은 다음 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$1 - P(n \leq k-1) = 1 - (1 - \rho^k) = \rho^k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \tag{4}$$

시스템 내에 고객수가 k보다 큰 값일 확률은 (λ/μ)<sup>k+1</sup> 이고 시스템 내 고객수가 k명일 확률 P(n = k)은 공식(5)와 같이 도출된다.

$$P(n=k) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1} = \rho^k - \rho^{k+1} = \rho^k(1-\rho) \tag{5}$$

시스템 내에 평균 고객 수 N은 (6)과 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} N &= \lim_{t \rightarrow \infty} E\{N(t)\} = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n (1 - \rho) \\ &= (1 - \rho) \left[ \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \right] = (1 - \rho) \left[ \frac{\rho}{(1 - \rho)^2} \right] \\ &= \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \end{aligned} \tag{6}$$

시스템 내에 고객당 평균 대기시간은 Little's Theory (N = λT)를 적용하여 (7)과 같이 도출된다.

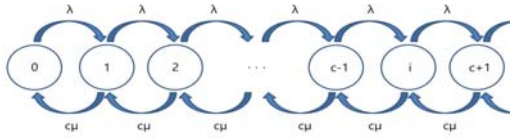
$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \tag{7}$$

Queue의 평균 대기시간은 (8)와 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} W &= \text{시스템내 고객당 평균대기시간} - \text{평균서비스시간} \\ &= T - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{\mu - (\mu - \lambda)}{(\mu - \lambda)\mu} \\ &= \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)\mu} = \frac{\rho}{\mu - \lambda} \end{aligned} \tag{8}$$

전체 시스템의 고객수 N = λT이고 Queue의 평균 고객수 N<sub>Q</sub>는 (9)와 같이 도출된다.

$$N_Q = \lambda W = \lambda \frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{9}$$



(그림 4) 다중서버 행렬의 상태전이도

(Figure 4) State transition diagram of multi server matrix

2.2.2 지수분포 서비스시간 다중서버 행렬(M/M/c)

지수분포 서비스시간 다중서버 행렬(M/M/c)은 그림4와 같이 c개의 병렬서버들이 서비스를 하고 있어서 Queue내의 대기시간이 획기적으로 줄어든다. 하나 이상의 서버가 사용되고 있을 때 패킷이 도착하면 사용되고 있는 서버를 제외한 나머지 유휴서버에서 동일한 서비스를 받을 수 있다. 고객 한 명에게 소요되는 시간은 수식(10)과 같이 도출된다.

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \tag{10}$$

수식 (10)은 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$c\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{11}$$

Queue속의 대기시간은 (12)와 같이 도출된다.

$$W = \frac{N_Q}{\lambda} = \frac{P_Q \frac{\rho}{1-\rho}}{\lambda} = \frac{\rho P_Q}{\lambda(1-\rho)} \tag{12}$$

시스템 전체가 아닌 고객당 평균 대기시간은 (13)과 같이 도출된다.

$$T = \frac{1}{\mu} + W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho P_Q}{\lambda(1-\rho)} = \frac{1}{\mu} + \frac{P_Q}{c\mu - \lambda} \tag{13}$$

시스템 내에 평균 고객 수는 (14)와 같이 도출된다.

$$N = \lambda T = \left( \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda P_Q}{c\mu - \lambda} \right) = \left( c\rho + \frac{\rho P_Q}{1-\rho} \right) \tag{14}$$

2.2.3 일반분포 서비스시간 단일서버 행렬(M/G/1)

일반분포 서비스시간 단일서버 행렬은 고객인 공중급유기가 도착률 λ를 갖는 포아송 과정으로 도착하고 군수지원 서비스팀이 제공하는 서비스시간은 일반분포를

따르는 M/G/1을 말한다. 서비스시간이 지수분포가 아닌 일반분포를 따르므로 대기행렬의 고객수 N(t)는 Markov 프로세스를 구성하지 않는다. M/G/1에서 이미 받은 서비스는 미래의 서비스양에 영향을 미치지므로 M/M/1에서처럼 단순히 고객 수 확률을 구할 수 없다.

M/G/1에서 공중급유기의 도착과정은 포아송과정이므로 PASTA(Poison Arrivals See Time Averages)가 적용된다. 도착하는 공중급유기 k대일 안정상태 확률 π<sub>k</sub>는 임의시점에서 고객수 확률 P<sub>k</sub>와 같다. 또한 공중급유기가 한 대씩 군수지원서비스 현장에 도착해서 한 대씩 서비스 받고 이탈하므로 도착시점 공중급유기 대수 확률 π<sub>k</sub>는 이탈하는 시점의 공중급유기 대수 확률 π<sub>k</sub>와 같다. 따라서 (15)와 같이 도출된다.

$$\bar{\pi}_k = P_k = \pi_k \tag{15}$$

임의시점에서 고객수 확률 P<sub>k</sub>를 구하기 위해서는 서비스지역 이탈 공중급유기 대수 확률 π<sub>k</sub>를 구하면 된다.

공중급유기 대수 N이 {N = n}에서 {N = n-1}상태로 전환, 즉 공중급유기가 군수지원 서비스를 받고 이탈하는 확률 π<sub>k</sub>은 서비스중이었던 공중급유기가 서버에서 보낸 시간에 따라 달라지게 된다. 하지만 M/G/1의 서비스 대기열의 길이, 대기시간 및 체류시간은 Pollaczek-Khinchine 공식에 따라 유도할 수 있다. 군수지원 서비스를 받기위해 공중급유기가 기다리는 시간을 대기시간 W라고 한다. 대기행렬 속에서 기다리는 공중급유기의 대수는 E[N<sub>Q</sub>], 공중급유기 한 대당 평균 서비스 시간 E[S]이며, E[N<sub>Q</sub>]와 E[S]를 통하여 대기행렬에 대기중인 공중급유기에 대한 서비스시간을 구할 수 있다. 서버에서 서비스중인 공중급유기의 잔여 서비스 시간 E[R]을 통해 공중급유기 군수지원서비스 대기시간 E[W]를 (16)과 같이 도출할 수 있다.

$$E[W] = E[N_Q] \cdot E[S] + E[R] \tag{16}$$

도착하는 공중급유기의 평균 대기시간을 구하려면 도착시점의 대기 공중급유기 대수 N<sub>Q</sub>의 기대치가 필요하다. Little의 법칙에 따라 평균 대기행렬의 길이 E[N<sub>Q</sub>]는 대기시간의 관점에서 (17), (18)과 같이 도출할 수 있다.

$$E[N_Q] = \lambda E[W] \tag{17}$$

$$E[W] = \frac{E[R]}{1-\rho} \tag{18}$$

서버내에서 서비스중인 작업의 양은  $R(t)$ 로  $t$ 시간이 지나면서  $R(t)$ 는 줄어들게 된다.  $R(t)$ 와  $t$ 의 그래프로 표현하면 삼각형의 형상을 띄고 있으며 이 삼각형의 면적은 서비스 작업의 총량을 나타낸다. 서비스 중인 작업의 양  $R(t)$ 의 평균값은 서비스 작업의 총량을  $t$ 시간으로 나누면 된다. 삼각형은 서버 유휴시간으로 구분되며 삼각형의 수는 공중급유기의 서버 도착률에 의해 결정된다. 따라서  $E(R)$ 와  $E(W)$ 는 (19)와 (20)으로 도출된다.

$$E[R] = \frac{1}{t} \int_0^t R(t') dt' = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} S_i^2$$

$$\frac{n}{t} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} S_i^2 = \lambda \cdot \frac{1}{2} E[S^2] \quad (19)$$

$$E[W] = \frac{\lambda E[S^2]}{2(1-\rho)} \quad (20)$$

평균대기시간에 대한 Pollaczek-Khinchine 평균공식  $E[W]$ 와 고객 서비스시간  $E[S]$ 에 의해 평균 체류시간  $E[T]$ 를 (21)과 같이 얻을 수 있다.

$$E[T] = E[S] + E[W] \quad (21)$$

평균 대기시간  $E[W]$ 와 체류시간  $E[T]$ 는 변동계수의 제곱  $C_v^2$ 에 의해 (22)와 (23)으로 도출된다.

$$E[W] = \frac{\lambda E[S^2]}{2(1-\rho)} = \frac{1+C_v^2}{2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \cdot E[S] \quad (22)$$

$$E[T] = E[S] + \frac{\lambda E[S^2]}{2(1-\rho)}$$

$$= \left(1 + \frac{1+C_v^2}{2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho}\right) \cdot E[S] \quad (23)$$

Little's 공식에 따라 큐에 대기하고 있는 공중급유기의 수와 시스템에서 대기하고 있는 전체 공중급유기의 수를 (24)와 (25)로 도출된다.

$$E[N_q] = \lambda E[W] = \frac{\lambda^2 E[S^2]}{2(1-\rho)} \quad (24)$$

$$= \frac{1+C_v^2}{2} \cdot \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

$$E[N] = \lambda E[T] = \lambda E[S] + \frac{\lambda^2 E[S^2]}{2(1-\rho)} \quad (25)$$

$$= \rho + \frac{1+C_v^2}{2} \cdot \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

이를 통해 PK 평균공식은  $M/M/1$  대기열의 공식과 유사함을 알 수 있다. 서비스 시간의 기댓값  $E[S]$ 와 분산  $V[S]$ 에 따라 평균값이 나타나며 평균값은 분산에 따라 선형적으로 증가하게 된다.

### 2.2.4 일반분포 서비스시간 다중서버 행렬(M/G/c)

일반분포 서비스시간 다중서버 행렬은 고객인 공중급유기가 도착률  $\lambda$ 를 갖는 포아송과정으로 서비스지역에 도착하고 군수지원 서비스 시간은 일반분포를 따르는 것이다. 지수분포 서비스시간이 아닌 일반분포 서비스시간의 대기행렬 시스템은 서비스중인 공중급유기의 잔여 서비스 시간은 이미 군수지원 중인 서비스 양에 따라 결정되며, 즉 미래의 서비스 시간은 과거의 군수지원 서비스 시간에 영향을 받는 것을 의미한다. 도착과 서비스 기간 사이는 독립적이다.

각 군수지원 서버의 서비스시간  $S$ 는 평균서비스 시간  $E[S] = 1/\mu$ 의 일반분포  $G$ 를 따른다.  $c$ 개의 군수지원 서버는 동일하며 상호 독립적이고 도착비율  $\lambda$ 는  $c$ 개의 군수지원 서버가 처리하는 서비스 처리비율  $c\mu$ 보다 작은 안정상태 조건이다. 서비스율  $\rho$ 는 (26)와 같이 도출된다.

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (26)$$

도착하는 공중급유기가 군수지원 서비스를 받기 위해 대기해야 할 확률  $P_0(M)$ 은 (27)과 같이 도출된다.

$$P_0(M) = \left( \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!(1-\rho)} \right)^{-1} \quad (27)$$

군수지원 시스템 내의 공중급유기가  $c$  미만인 경우에는  $M/M/c$  대기행렬 시스템의 해를 그대로 사용하여  $M/G/c$  모형의 해로 제시하였는데 loss 시스템의 경우 근사의 정도가 매우 양호함을 나타낸다. Kimura[14]는  $c$ 개의 군수지원 서비스팀 모두가 바쁘지 않은 경우에는  $M/G/c$ 와  $M/M/c$  대기행렬 시스템이 유사한 성질을 보이고 있기 때문에 근사의 원형으로  $M/M/c$  시스템을 도입하고 있다.

군수지원 시스템 내의 공중급유기가  $c$ 일 경우에는 Lee[4]는  $M/G/c$  시스템의 분포를 근사시키기 위하여 임의의 모수  $\nu$ 를 도입하였다. 공중급유기가 군수지원 시스템 내  $n$ 대가 있을 확률  $P_n(G)$ 는 (28)과 같이 도출된다.

$$P_n(G) = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0(M), & (0 \leq n \leq c-1) \\ C(c, c\rho)(1-\nu)\nu^{n-c}, & (n = c) \end{cases} \quad (28)$$

모수  $\gamma$ 를 구하기 위해서는 Little의 식과 moment matching 기법을 적용한다. M은 M/M/c 시스템, G는 M/G/c 시스템을 의미한다고 한다면  $L_q, M/M/c = \lambda W_q, M/M/c$ ,  $L_q, M/G/c = \lambda W_q, M/G/c$ 가 성립되고 이것을  $\lambda$ 에 대해 정리 후 moment matching을 하면 (29)과 같이 도출된다.

$$\frac{\rho}{1-\rho} W_{q, M/G/c} \approx \frac{\nu}{1-\nu} W_{q, M/M/c} \quad (29)$$

R은 (30)와 같이 정의한다.

$$R \equiv \frac{W_{q, M/G/c}}{W_{q, M/M/c}} \quad (30)$$

모수  $\gamma$ 는 (29)과 (30)에 의하여 (31)과 같이 도출된다.

$$\nu = \frac{\rho R}{1 - \rho + \rho R} \quad (31)$$

Kimura[14]는 R을 군수지원 서버의 수 c와 임의시점에서 최소 잔여 서비스 시간의 평균  $E[T^+]$ , 평균서비스 시간  $E[S]$ 로 (32)을 도출하였다.

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} R = c \cdot E[T^+] \cdot \frac{1}{E[S]} \quad (32)$$

$E[T^+]$ 는 임의시점에서 최소 잔여서비스 시간의 평균으로서 (33)와 같이 도출된다.  $S_k$ 는 서버 k의 잔여 서비스 시간, G는 잔여 서비스 시간의 분포함수를 나타낸다.

$$E[T^+] = E[\min S_1, S_2, \dots, S_c] \quad (33)$$

$$= \int_0^\infty (1 - G(t))^c dt$$

Wang[16]은  $E[T^+]$ 를 구하는 방법을 (34)과 같이 명시하였다.

$$E(T^+) \approx \frac{E[S] + 3E[S^+]}{4c} \quad (34)$$

근사된 R값은 식 (31)에 대입하여 모수  $\gamma$ 를 구하고  $\gamma$ 를 수식(28)에 대입하면 PC(G)는 수식(35)로 도출된다.

$$P_C(G) = \frac{(\lambda/\mu)^c}{n!} \cdot \frac{1-\nu}{1-\rho} \cdot P_0(M) \quad (35)$$

평균 대기시간을 구하기 위해서 Kingman의 혼잡의

법칙을 활용하여 M/G/c와 M/M/c의 대기시간 간의 상관관계는 (36)로 도출된다.

$$E[W^{M/G/c}] = \frac{C^2+1}{2} E[W^{M/M/c}] \quad (36)$$

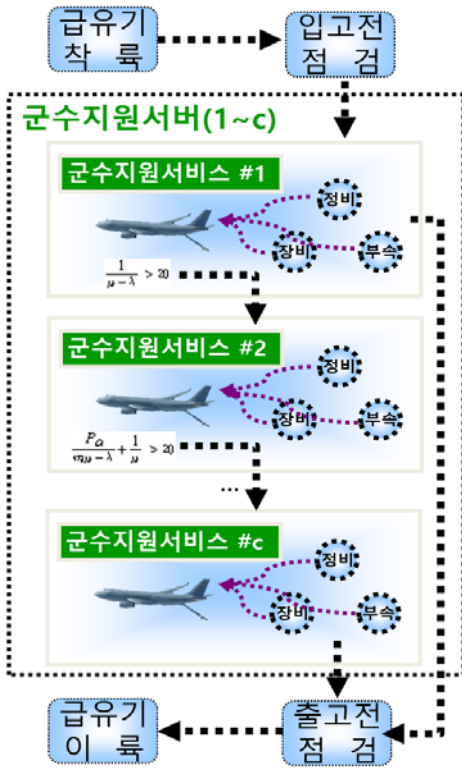
C는 서비스 시간분포의 변동계수로서 모멘트만을 사용한 근사는 모든 경우에 정확할 수 없지만 서비스 시간 분포에 대한 추가 정보를 제공받으면 우수한 근사치가 나온다.

### 3. 제안기법

#### 3.1 시스템 제안

##### 3.1.1 군수지원 서비스팀 제안

본 논문에서 군수지원 서비스는 정비 인적자원, 지상 지원 장비, 항공기 수리부속 등 일괄적으로 공중급유기에 제공되는 것을 말한다. 하나의 군수지원 서비스팀은 첫 번째 부대정비와 야전정비를 수행하는 정비사, 두 번째, 급유계통, 항진계통, 기체, 기관 등 공중급유기의 수리부속을 해외의 제작사에서 확보하여 정비사에게 보급하는 품목관리관, 세 번째, 항공기의 지상이동, 하이드런트 급유 등 지상조업시 필요한 장비를 운용하는 장비운용관이 팀으로 구성되어 있다. 기존 단일서버로 군수지원시 서비스 지원시간과 다중서버로 군수지원시 서비스 지원시간을 확인하여 제한시간을 초과하지 않는 방안으로 서비스 한다. 이를 종합하여 국방정보체계 관점에서 본 시스템에 대한 시스템 구성도를 나타내면 그림5와 같이 나타난다. 착륙후 군수지원서버에 도착한 공중급유기는 제한시간 내 서비스를 받으면 출고가 되어 이륙할 수 있게 되지만 군수지원서버에 공중급유기가 추가 도착하는 상황 등 군수지원서비스 지원시간의 제한을 초과하게 되면 군수지원서비스를 환경에 맞게 c개까지 증가하여 공중급유기의 지상 대기시간을 적응적으로 제어하는 것이 시스템의 특성이다.



(그림 5) 공중급유기 군수지원 시스템 구성도

(Figure 5) Air tanker logistics support service system architecture

### 3.1.2 서비스 제한시간 제한

공중급유기는 제한된 시간 내 군수지원 서비스를 받고 재출격하여 아군의 항공기를 대상으로 재급유해야 하므로 서비스 시간의 제한을 둔다. 보유하고 있는 공중급유기는 4대, 공중급유기의 항공작전임무는 8시간, 착륙 후 군수지원 입고전 점검 및 이륙을 위한 출고전 점검은 각 2시간이라고 가정한다. 공중급유기 한 대는 8시간 임무 후 착륙하게 되면 다음 두 번째 공중급유기가 이륙하여 8시간 동안 공중급유임무를 수행하게 된다. 하루에 총 3대의 공중급유기가 공중급유임무에 투입되며 나머지 한 대의 공중급유기는 입고 전 점검 2시간과 출고전 점검 2시간, 총 4시간을 제외하면 20시간의 군수지원 서비스 시간을 할당받게 된다. 평시, 전시 모두 공중급유기의 대수는 변동이 없으므로 전·평시 동일하게 20시간 이내에 군수지원 서비스를 완료 후 공중급유기가 재출격해야 함을 가정한다.

### 3.1.3 Utilization $\rho$ 제한

한 개의 군수지원 서비스팀의 인원은 편제로 구성되어 있고 정비, 보급, 장비작동조에 포함된 인원은 동일한 직무교육을 받으므로 업무수행에 따른 편차가 크지 않아 서비스처리율( $\mu$ )은 편차의 분산이 적은 분포에 해당된다. 평시에는 기존의 항공작전 계획대로 임무를 수행하나 전시 발발 전 상황이 고조되면서 Pre-ATO(기계화 항공임무명령서, Prepositioned Air Tasking Order)가 시행되고 전시가 되면 ATO(항공임무명령서, Air Tasking Order)가 시행됨에 따라 출격하는 항공기수는 급격하게 증가하게 된다. 항공임무명령서(ATO)는 모든 항공임무를 지시하는 공표된 명령이다. 공중임무주기는 합동 공중임무/출격의 계획, 조정, 할당 및 임무수행을 위한 반복적인 프로세스를 제공한다. 항공임무명령서(ATO)는 24시간 기준으로 3개의 작업이 포함되어 운영된다. 이미 시행중인 항공임무명령서(ATO)와 완성을 앞두고 있는 항공임무명령서(ATO) 그리고 계획을 수립하기 시작한 항공임무명령서(ATO)로 구분되어 진다. 각각의 항공기는 출격 간 피해가 없어 바로 재출격하기도 하지만 그렇지 않은 경우에는 군수지원 서비스를 받고 재출격하게 된다. 서버에 서비스를 받으러 오는 공중급유기의 수( $\lambda$ )가 늘어날수록  $\rho$  값은 증가한다. 전시준비 단계가 3에서 2, 2에서 1로 상향되어 전황이 증가 될수록 시행하는 항공임무명령서(ATO) 수가 증가되어 출격하는 항공기수와 출격 후 서버에 되돌아오는 항공기 수는 증가한다. Pre-ATO의 데이터를 직접 인용하여 활용하면 가장 정확한 연구결과가 도출되겠지만 해당자료가 수시로 개정된다는 점에서 한국의 공중급유기 군수지원 환경과 지난 전쟁에서의 항공기 고장율을 고려하여 평시, 전투준비 III단계, II단계, I단계, 전시 5개의  $\rho$ 값은 각 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99로 연구결과를 도출한다.

### 3.1.4 단계별 공중급유기 운영 제한

$f$ 는 군수지원 서비스를 받고 있지 않은 항공기의 수를 의미하며  $f$ 에 안정상태 확률을 곱하여 더하면 평균가용 항공기 대수가 (37)처럼 도출된다.

$$\sum_f \pi_f \cdot \dots \cdot f \tag{37}$$

$(f-1)^+$ 는 현재 가용 항공기 대수  $f$ 에서 공중급유 임무의 수 1을 뺀 값으로 임무 투입없이 유히중인 항공기 대



수를 의미한다. 이 값에 안정상태 확률을 곱하여 더하면 임무수행 가능 상태이지만 유휴중인 항공기 평균 대수가 (38)와 같이 도출된다.

$$\sum_f \pi_{f,l,\dots} \cdot (f-l)^+ \quad (38)$$

평균 운용 항공기 대수는 수식(37) 평균 가용 항공기 대수에서 수식(38) 평균 유휴 항공기 대수의 차이를 나타낸 값으로 (39)과 같이 도출된다.

$$\sum_f \pi_{f,\dots} \cdot f - \sum_f \pi_{f,l,\dots} \cdot (f-l)^+ \quad (39)$$

$(l-f)^+$ 는 공중급유 임무의 수 1에서 현재 가용한 공중급유기 수  $f$ 를 뺀 값을 의미한다. 군수지원 서버가 모두 서비스 중인 상태로 군수지원 서비스 대기열에 대기중인 공중급유기 대수를 의미한다. 이 값에 안정상태 확률을 곱하여 더하면 군수지원 서비스 시스템 내 평균 대기 항공기 대수가 (40)와 같이 도출된다.

$$\sum_f \pi_{f,l,\dots} \cdot (l-f)^+ \quad (40)$$

평시부터 전시준비 3단계, 2단계, 1단계, 전시 단계까지 총 5단계는 단 하루만에 진행될 수도 있고 1년이 소요될 수도 있지만 여기서는 각 단계별로 6일이 소요되고 총 30일의 기간을 기준으로 정하여 분석하고자 한다.

전시 또는 평시의 공중급유기 임무 소요를 근간으로 현실성 있게 가공한 데이터를 사용하였다. 공중급유임무 요청 간격은 최소 1일에서 최대 15일 사이 평균 4.26일 간격으로 발생한다. 공중급유기의 군수지원 서버 도착 후 군수지원 요청률  $\lambda$ 를 가지는 지수분포를 따른다. 군수지원 서버 입고와 출고시간에 대해서 평균값만을 활용할 수 있으므로 수학적 분석 가용성과 평균값을 모수로 이는 경우에 적합한 지수분포를 가정하였다.

군수지원 서비스를  $\mu$ 는 공중급유기 정비수행, 항공기 수리부속 확보/교체, 유류보급을 위한 지상조업 등에 소요되는 총 시간으로 평균 20시간이 소요되므로 이를 일 변환하면 1일 평균 1.2대, 6일 기준 7.2대가 서비스 완료 되는 것을 알 수 있다. 군수지원 서버 입고율은 공중급유기 가동율 수준에서 통제되는 것을 가정하였다. 군수지원 서버 최대 입고 항공기 수  $M$ 은 군에서 공중급유기에 적용하는 목표 가동률 수준인 약 75%를 넘지 않는 값으로 분석을 수행하였다.

한국전과 월남전 등 미국이 주도한 전쟁은 항공기

유휴율이 매우 낮으나 이는 일방적인 공중우세를 확보하여 제공권이 확보된 상태의 전쟁으로서 그에 따른 항공기의 유휴율이 낮은 것으로 판단된다. 현재 한반도 환경의 공중전에 근접한 1973년도의 중동전을 기준으로 항공기 고장률을 적용하여 6일 기준 고장 대수를 산출한 결과 표1과 같이 6일 기준 6대의 항공기가 유휴상태가 되는 것을 활용하여 자료를 분석하였다.

(표 2) 전쟁사별 항공기 피격에 따른 유휴율  
(Table 2) Aircraft idle rate according to attack

전쟁명(수행연도)	항공기유휴율(%)	6일기준 유휴대수
한국전 (1950)	44	2.6
월남전 (1966)	35	2.1
월남전 (1967)	30	1.8
월남전 (1968)	15	0.9
중동전 (1973)	100	6.0
걸프전 (1991)	4	0.2

평시에서 전시까지 30일의 기간을 평시, 전투준비 III단계, II 단계, I 단계, 전시 총 5단계로 구분하여 단계별 6일의 기간이 부여되고 지대공 미사일 제거, 적 항공기를 제압할 필요가 있는 즉, 제공권이 미확보된 한반도 환경에서 현대전과 가장 유사한 중동전을 기준으로 각 단계별로 6대의 항공기가 유휴상태가 발생하였고 6일 기준 총 7.2대의 공중급유기가 수리가 완료되어 각 단계별 1.2대의 공중급유기가 가용항공기 대수로 증가하게 됨을 다음의 표2에서 확인할 수 있다.

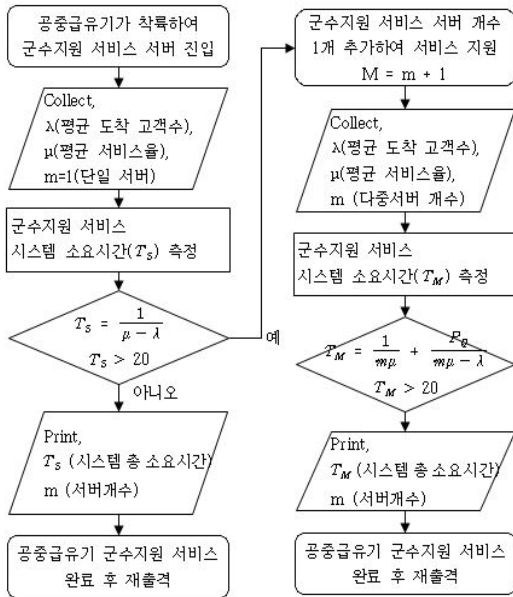
(표 3) 평시-전시 단계별 가용 공중급유기  
(Table 3) Phased available Air tankers

구 분	평 시	준비III	준비II	준비I	전 시
	1~6일	7~12일	13~18일	19~24일	25~30일
수리항공기(A)	7.2대	7.2대	7.2대	7.2대	7.2대
유휴항공기(B)	6대	6대	6대	6대	6대
A-B	1.2대	1.2대	1.2대	1.2대	1.2대

따라서 평시, 전투준비 III단계, II 단계, I 단계, 전시 총 5단계에서 한단계 상향될수록 수리가 완료되어 가용할 수 있는 항공기는 1.2대씩 증가하게 되어 군수지원

서버에 들어오는 항공기의 대수가 단계별로 한 대씩 증가하고 군수지원 서비스를  $\mu$ 는 100으로 일정한 경우  $\rho$  값은 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99로 도출할 수 있다.

### 3.2 시스템 흐름도



(그림 6) 공중급유기 군수지원 서비스 흐름도

(Figure 6) Air tanker logistics support service flow chart

## 4. 성능평가 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 시나리오

본 논문에서 사용되는 각종 기호 및 약어들은 표 4와 같이 정의하였다. 군수지원 서비스의 대상인 공중급유기의 수와 군수지원 서비스의 수는 각각 변수  $\lambda$ ,  $c$ 이다. 군수지원 서비스는 한 시간에 한 대의 공중급유기를 처리한다고 가정하였고 서비스 처리율은  $\mu$ 이다. 1일 24시간 중 공중급유기 입고전 점검 2시간, 출고전 점검 2시간을 제외한 나머지 20시간이 최대 시스템 대기시간  $T_{max}$ 이다. 군수지원 서비스를 처리하고 있을 확률은 서비스 대기 공중급유기 수  $\lambda$ 와 군수지원 서비스의 수  $c$ 와 같이 변수  $\rho$ 이다. 단일서버 시스템 대기시간은 Little's Theory를 적용하여 변수  $\frac{1}{\mu - \lambda}$ 이다. 다중서버 시스템 대기시간은 변

수  $\frac{1}{\mu} + \frac{P_Q}{c\mu - \lambda}$ 이다. 단일서버와 다중서버의 대기행렬 내에서 공중급유기 평균 대기시간은 각각 변수  $\frac{\rho}{(\mu - \lambda)}$ ,  $\frac{\rho P_Q}{\lambda(1 - \rho)}$ 이다. 시뮬레이션에 적용된 시나리오는 군수지원 서비스 처리율( $\mu$ )은 한 시간에 1대의 항공기만 서비스 지원이 가능하고 서비스 대기중인 공중급유기의 수( $\lambda$ )는 변수로 설정하여 시스템 대기시간의 변화를 확인하는 제한적인 상황을 설정하여 실험하였다. 또한, 단일서버 시스템과 다중서버 시스템의 차이를 확인하기 위하여 군수지원 서비스가 1개인 단일서버인 경우와 군수지원 서비스가 2개 이상인 다중서버 환경을 구분하여 성능실험을 하였다. PC는 Intel i5, 8GB RAM 사양의 삼성 랩탑으로 환경을 구성하였고, MATLAB R2021b를 활용하여 시뮬레이션하였다.

(표 4) 큐잉모델 시뮬레이션 적용 파라미터

(Table 4) Queuing model simulation application parameters

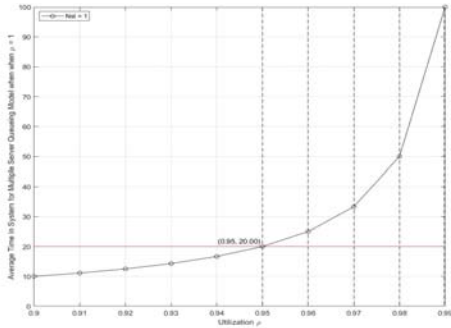
변수	의미	단일서버	다중서버	비고
$\lambda$	서비스 대기 공중급유기 수			변수
$\mu$	군수지원 서비스 처리율	1	1	가정치
$c$	군수지원 서비스의 수			변수
$T_{max}$	최대 시스템 대기시간	20	20	가정치
$\rho$	군수지원 서비스를 처리하고 있을 확률	$\lambda / \mu$	$\lambda / \mu$	변수
$T$	단일서버 시스템 대기시간	$\frac{1}{\mu - \lambda}$		변수
$W$	다중서버 시스템 대기시간		$\frac{P_Q}{m\mu - \lambda} + \frac{1}{\mu}$	변수
$T_Q$	대기행렬(Queue) 내에서 평균 공중급유기 대기시간	$\frac{\rho}{(\mu - \lambda)}$		변수
$W_Q$	대기행렬(Queue) 내에서 평균 공중급유기 대기시간		$\frac{\rho P_Q}{\lambda(1 - \rho)}$	변수

### 4.2 시뮬레이션

#### 4.2.1 M/M/1 단일서버 큐잉 모델 적용

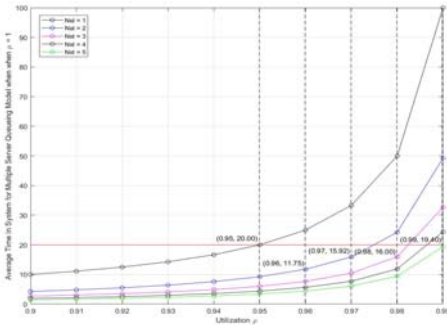
단일서버( $N_{ST}=1$ )는 그림 7을 보면 군수지원 서비스를 받기 위해 대기중인 공중급유기가 증가할수록, 즉 서비스 사용률( $\rho$ )이 증가할수록 시스템 내에서 평균대기 시간이 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있다. 서비스 사용률

( $\rho$ )은 0에서 1로 증가할수록 평균대기 시간은 100으로 수렴하고 있다. 3.1.2. 서비스 제한시간 제안에서 언급하였듯이 전·평시 동일하게 20시간 이내에 군수지원 서비스를 완료 후 공중급유기가 재출격해야 하므로  $\rho$  값이 0.95인 평시만 20시간 내 군수지원 서비스를 완료 후 재출격 할 수 있다.



(그림 7) M/M/1 단일서버 환경에서  $\rho$ 값 변화에 따른 시스템 대기시간

(Figure 7) System waiting time according to the change of  $\rho$  value under the single server in M/M/1



(그림 8) M/M/c 다중서버 환경에서  $\rho$ 값 변화에 따른 시스템 대기시간

(Figure 8) System waiting time according to the change of  $\rho$  value under the multi server in M/M/c

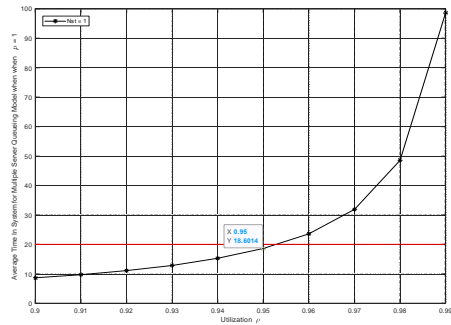
#### 4.2.2 M/M/c 다중서버 큐잉 모델의 성능

그림 8은 군수지원 서비스 처리율( $\mu$ )이 편차의 분산이 작은 분포일 때 단일서버( $N_{ST}=1$ )와 다중서버일 경우  $\rho$

값이 증가함에 따라 시스템에서 평균대기 시간에 대한 성능을 나타내고 있다. 단일서버( $N_{ST}=1$ )와 다중서버는 서비스 사용률( $\rho$ )이 0.9에서 1로 증가할수록 시스템 내에서 평균대기 시간이 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있다. 전시준비 III단계( $\rho=0.96$ ), 전시준비 II단계( $\rho=0.97$ )일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 2개 이상이어야 한다. 전시준비 I 단계( $\rho=0.98$ )일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 3개 이상이어야 한다. 전시( $\rho=0.99$ )일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 5개 이상이어야 한다.

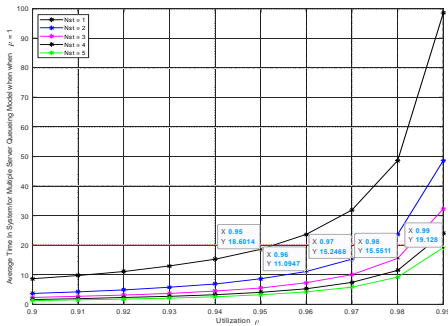
#### 4.2.3 M/G/1 단일서버 큐잉 모델 적용

단일서버( $N_{ST}=1$ )는 그림 9를 보면 군수지원 서비스를 받기 위해 대기중인 공중급유기가 증가할수록, 즉 서비스 사용률( $\rho$ )이 증가할수록 시스템 내에서 평균 대기 시간이 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있다. 서비스 사용률( $\rho$ )은 0에서 1로 증가할수록 평균 대기 시간은 98.6으로 수렴하고 있다. 3.1.2. 서비스 제한시간 제안에서 언급하였듯이 전·평시 동일하게 20시간 이내에 군수지원 서비스를 완료 후 공중급유기가 재출격해야 하므로  $\rho$  값이 0.95인 평시만 20시간 내인 18.6시간에 군수지원 서비스를 완료 후 재출격 할 수 있다.



(그림 9) M/G/1 단일서버 환경에서  $\rho$ 값 변화에 따른 시스템 대기시간

(Figure 9) System waiting time according to the change of  $\rho$  value under the single server in M/G/1



(그림 10) M/G/c 다중서버 환경에서 ρ값 변화에 따른 시스템 대기시간  
 (Figure 10) System waiting time according to the change of ρ value under the multi server in M/G/c

#### 4.2.4 M/G/c 다중서버 큐잉 모델의 성능

그림 10은 군수지원 서비스 처리율(μ)이 편차의 분산이 적은 분포일때 단일서버( $N_{ST}=1$ )와 다중서버일 경우 ρ값이 증가함에 따라 시스템에서 평균대기 시간에 대한 성능을 나타내고 있다. 단일서버( $N_{ST}=1$ )와 다중서버는 서비스 사용률(ρ)이 0.9에서 1로 증가할수록 시스템 내에서 평균대기 시간이 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있다. 전시준비 III단계(ρ=0.96), 전시준비 II단계(ρ=0.97)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 2개 이상이어야 한다. 전시준비 I단계(ρ=0.98)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 3개 이상이어야 한다. 전시(ρ=0.99)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 5개 이상이어야 한다.

#### 4.2.5 서버량 조정에 따른 지상대기 시간 변화

다섯개 그래프 모두 군수지원 서비스를 받기 위해 대기중인 공중급유기가 증가할수록 즉, 서비스 사용률(ρ) 값이 증가함에 따라 시스템 평균대기 시간이 증가하고 있다. 하지만 다중서버( $N_{ST}=2, N_{ST}=3, N_{ST}=4, N_{ST}=5$ )일 경우 시스템의 성능이 더 우수하여 단일서버 대비 시스템에서 평균대기 시간의 감소를 보인다. 서비스 사용률(ρ)값이 커질수록 성능의 차이가 커지고 있음을 확인할 수 있다. 위 결과를 분석해 보면 다중서버는 단일서버( $N_{ST}=1$ )보다 더 나은 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

공중급유기는 현재 한반도 안보환경에서 전투기의 작전영역을 확대시켜주는 전략자산이다. 모든 항공기는 유한한 자산으로 작전에 임하며 일정시간이 지나면 기지로 귀환하여 정비인력, 지상지원 장비, 항공기 수리부속 등 군수지원 서비스를 받아야 한다. 평시 항공기 군수지원 단계보다 필수적인 군수지원 단계만 전시 군수지원 단계에 시행될 것이며 군수지원 서비스 시간은 20시간으로 일반화하였다. 군수지원 서비스를 받기 위하여 지상에 대기중인 시간이 길어질수록 적의 공격으로부터 노출될 확률이 높아지므로 지상대기 시간을 환경에 따라 적응적으로 제어할 필요가 있다. 단일 서버와 다중 서버일 경우를 구분한 후 MATLAB R2021 프로그램을 통하여 시뮬레이션한 연구결과를 도출할 수 있었다. 군수지원 서비스의 정비지원 인력과 지상지원 장비, 항공기 수리부속의 값은 변동이 적음을 가정하여 처리율(μ)은 편차의 분산이 적은 분포로 가정하였다. 이때 단일서버( $N_{ST}=1$ )와 다중서버는 서비스 사용률(ρ)이 0.9에서 1로 증가할수록 시스템 내에서 평균대기 시간이 기하급수적으로 증가함을 확인할 수 있다. 평시(ρ=0.95) 공중급유기 군수지원 서비스팀은 1개일 때 지상대기 최대 시스템 대기시간 20을 충족한다. 하지만 전시준비 III단계(ρ=0.96), 전시준비 II단계(ρ=0.97)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 2개 이상이어야 한다. 전시준비 I단계(ρ=0.98)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 3개 이상이어야 한다. 전시(ρ=0.99)일 때, 지상대기 최종시간 20을 충족시키기 위해 군수지원 서비스팀은 5개 이상이어야 한다. 이로써 다중서버일 경우 서비스 사용률(ρ) 값이 높아져도 군수지원 서비스 대상인 공중급유기의 최대 대기시간 20시간 안에 재출격 할 수 있었다. 단일서버보다 다중서버일 경우 시스템 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌(Reference)

[1] 김태수, 「논문작성법」 서울:연세대학교 대학출판문화원, 2010.  
 [2] Yoon, Bong-K., Kim, Nam-K., Chae, Kyung-C., “A Microscopic Application of the Little’s Formula”, Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, vol. 25, Issue 1, pp. 125-129, 1999.  
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKOI99929464078542.page>

- [3] 이호우, 「대기행렬이론」, 시그마프레스, 2006.
- [4] 「GULF 전쟁」, 합동참모본부, pp. 254-356, 1992.
- [5] 「나라살림」, 기획재정부, 2021.
- [6] 「국방예산 추이」, 국방부 인력운영예산담당관실, 2021
- [7] 김경민, 윤봉규, “전시 동원의 특성을 고려한 민간 항공기 적정 동원대수 산출기준 연구”, 한국로지스틱스학회지, pp. 117-129, 2019.
- [8] Young-Su Son, Seong-Woo Kim, Bong-Kyoo Yoon, “A Study on the Criteria to Decide the Number of Aircrafts Considering Operational Characteristics”, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, vol. 17, Issue 1, pp. 51-57, 2014.  
<https://doi.org/10.9766/KIMST.2014.17.1.041>
- [9] 남승엽, 김수환, 문성암, “전시 피격 및 고장을 고려한 전투기 추가 소요 예측 모델 연구”, 로지스틱스연구, 24(1), pp. 81-95. 2016.
- [10] 손휘민, 윤봉규, “운용가용도를 고려한 최적 여유장비 수준 연구”, 로지스틱스연구, 16(2), pp. 105-120, 2008.
- [11] 이상진, “이라크 전쟁과 한반도 안보; 이라크 전쟁에서의 전략군수”, 국가안보문제연구소 안보연구, 46(2), pp. 55-83, 2003.
- [12] 조승현, 윤봉규, “우선순위 대기행렬 모델을 활용한 대형합정 정비비용 건설저 운용수준 분석”, 경영과학, 36(1), pp. 37-49, 2019.
- [13] Seong-Woo Kim, Bong-Kyoo Yoon, “A Study on the Optimal Allocation of Maintenance Personnel in the Naval Ship Maintenance System”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 16(3), pp. 1853-1862, 2015.  
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.1853>
- [14] Kimura.T., “A Transform-free Approximation for the Finite Capacity M/G/s Queue”, Oper. Res., Vol.44, pp.984-988, 1996.  
<https://doi.org/10.1287/opre.44.6.984>
- [15] Lee, H.-Y. and Hur, S., “An Approximation for the System Size of M/G/c Queuing Systems”, KORMS · KIIIE AUTUMN CONFERENCE, pp.585-590, 1999.
- [16] Wang, C. and R. W. Wolff, “The M/G/c queue in light traffic”, Queuing Systems, Vol.29, pp.17-34, 1998.  
<https://doi.org/10.1023/A:1019171711535>
- [17] J. Virtamo “38.3143 Queuing Theory”, pp. 1-34
- [18] Allen R, Dantzig G B, “The Allocation of Aircraft to Routes An Example of Linear Programming under Uncertain Demand”, Management Science, 3(1), 45-73, 1956.  
<https://doi.org/10.1287/mnsc.3.1.45>
- [19] Baker S F, Morton D P, Rosenthal R.E, Williams L M, “Optimizing Military Airlift”, Operations Research, 50(4), 582-602, 2002.  
<https://doi.org/10.1287/opre.50.4.582.2864>
- [20] Choi J H, Govindaraju P, Davendralingam N, Crossley W A, “Platform Design for Fleet Level Efficiency”, Naval Postgraduate School, Monterey, 2013.  
<https://doi.org/10.21236/ada613052>
- [21] Takagi H, Queuing Analysis, Volume 2:Finite Systems, Tokyo: IBM Research, 1993.  
[https://doi.org/10.1007/springerreference\\_65597](https://doi.org/10.1007/springerreference_65597)
- [22] Adve, V. S. and Nelson, R, “The relationship between Bernoulli and fixed feedback policies for the M/G/1 queue” Operation Research, Vol.42, pp. 380-385, 1994.  
<https://doi.org/10.1287/opre.42.2.380>
- [23] Ross, S. M., Introduction to probability Models, 5th ed, Academic Press, San Diego, 1993.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-598455-3.50004-0>
- [24] Whitt. W., “A review of  $L=\lambda W$  and extensions.” Queuing Systems, Vol.9, pp. 235-268, 1991.  
<https://doi.org/10.1007/BF01158466>
- [25] Wolff, R. W., “Poisson arrivals see time averages” Operations Research, Vol.30, pp. 223-231, 1982.  
<https://doi.org/10.1287/opre.30.2.223>
- [26] Shaler, S. Jr. and Richard, W., “A Survey of Markov Decision Models for Control of Networks of Queues,” Queuing systems, Vol. 13, No. 1-3, pp.291-314, 1993.  
<https://doi.org/10.1007/BF01158935>
- [27] Lee, S.-H. and Lee, I.-G., “Heuristic Algorithm for the Singlemachine Scheduling with Periodic Maintenance”, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 34(1), 318-327, 2008.
- [28] Military Benefits. (2021) “DEFCON Levels” [인용일자 2021.11.29.]  
<https://militarybenefits.info/defcon-levels>
- [29] Government of Canada, “Canadian Forces Aerospace Shape Doctrine”, 2021. [인용일자 2021.11.29.]  
<http://www.rcmf-arc.forces.gc.ca/en/cf-aerospace-warfare-centre/doctrine/ad-b-ga-403-000-fp-001-chapter-5.page>
- [30] Global Security, “The Air Campaign”, 2021. [인용일자 2021.12.4.]  
<https://www.globalsecurity.org/military/ops/air.htm>

● 저 자 소 개 ●



**손 용 식(Yong-Sik Sohn)**

2006년 충북대학교 전기전자공학과 (공학사)  
2015년 경북대학교 경영대학원 경영학과 (경영학석사)  
2018년~2019년 공군본부 군수참모부 유통관리담당  
2020년~2021년 공군 제5공중기동비행단 보급대대장  
2022년 연세대학교 일반대학원 국방융합공학과 (공학박사)  
2022년~현재 공군본부 기획관리참모부 근무  
관심분야 : Packet Optimize, IoT, AI, 5G  
E-mail : suave10@yonsei.ac.kr, suave10@mensakorea.org



**정 종 문(Jong-Moon Chung)**

1992년 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1994년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1999년 Pennsylvania State University, Electrical Engineering (공학박사)  
1997년~1999년 Pennsylvania State University, Electrical Engineering, Faculty Instructor 및 조교수  
2000년~2005년 Oklahoma State University, Electrical and Computer Engineering 부교수(정년보장)  
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수(정년보장)  
2011년~현재 Editor, IEEE Trans. on Vehicular Technology  
2013년~현재 KSII Trans. on Internet and Information Systems (TIIS) Co-EIC  
2015년~현재 연세대학교 국방융합공학협동과정 주임교수  
2017년~현재 Section Editor, Wiley ETRI Journal  
2018년~현재 연세대학교 공과대학 부학장  
2019년~현재 한국인터넷정보학회 (KSII) 부회장  
2019년~현재 연세대학교 의과대학 응급의학교실 (겸직)교수  
2019년~현재 IEEE Consumer Electronics Society 부회장  
2019년~현재 Senior Editor, IEEE Trans. on Consumer Electronics  
2021년~현재 IEEE Product Safety Engineering Society 부회장  
관심분야 : 무선통신, 이동통신망, Ad Hoc망, 정보이론, 통신보안  
E-mail : jmc@yonsei.ac.kr, jmc@ieee.org