

## 검교정이 필요한 무기체계 정비장비의 구매 대수 결정을 위한 대기행렬이론 연구

박정호\*, 이익도, 박연경, 김두정  
(주)LIG넥스원 ILS연구소

### A study on decision number of maintenance equipment with calibration for weapon system with Queueing Theory

JUNGHO PARK\*, IKDO LEE, YEONKYOUNG PARK, Du-Jeong Kim

ILS R&D Lab, LIG Nex1

**요 약** 무기체계는 기술의 발달로 인하여 급속도로 발전하고 있다. 이러한 발전덕분에 과거 무기체계에서 보지 못했던 고가의 첨단 전자장비들이 포함된 무기체계가 등장하게 되었다. 더불어, 고도의 기술이 적용된 무기체계의 운영 및 유지보수를 위한 장비유지예산 또한 증가되고 있다. 그러나 장비유지예산은 장비자산대비 그 비율이 감소추세에 있어, 효율적인 무기체계 운영에 어려움이 초래되고 있다. 이처럼 고비용 환경이 되고 있는 국방경영 및 감소되고 있는 장비유지예산을 고려하는 연구가 필요하다. 본 연구는 무기체계를 운영 및 유지보수 하는데 필요한 정비장비에 초점을 두고 있다. 최신 무기체계는 계측장비와 같은 정비장비를 활용하여 무기체계의 정렬 및 검교정 절차를 수행 후, 적절한 무기 성능이 유효하다고 볼 수 있다. 이러한 계측장비는 주기적으로 업체 외주정비(검교정 절차)를 하여 계측장비 자체의 정렬 및 상태 이상 유무를 확인해야 한다. 일반적으로 계측장비는 신뢰성이 입증된 해외업체의 계측장비를 구매하게 되고, 이러한 계측장비는 주기적으로 해외 외주정비를 받을 수밖에 없게 된다. 즉, 정비장비가 해외 외주정비를 진행하는 동안, 해당 무기체계는 성능에 대해 신뢰할 수 없으며 불가용 상태라고 볼 수 있다. 본 연구의 목적은 정비장비의 해외 외주정비로 인해 발생하는 무기체계의 손실비용과 정비장비의 구매 비용을 비교하여, 적절한 정비장비의 구매 대수를 제시하고자 한다. 본 연구의 결과가 효율적 작전 수행 보장에 기여할 것으로 판단되며, 전력 공백 문제를 해결 가능한 방안이 될 것이다.

**Abstract** Weapon systems have been developed with high technology electronic equipment due to technology growth. In addition, the capital, operational and maintenance costs of weapon systems have all increased. However, cost of operation and maintenance for weapon systems has been decreased relatively compared to the increased capital cost of weapon systems. Therefore, the defense industry needs to research the life cycle cost of weapon systems that have high operational and maintenance costs. This paper focuses on maintenance equipment for the operation and maintenance of weapon systems. Recently, it seems that the weapon systems that have periodic calibration with maintenance equipment are valid. The equipment requires periodic calibration by the manufacturer to check its own validation. Basically, customers demand high reliability devices from foreign companies that have qualified in the global market. Therefore, the tools need to be calibrated overseas. In other words, weapon systems are not available when the equipment has to be calibrated overseas because the systems require validation with valid maintenance equipment. A purpose of this paper is to compare the loss costs that arise from the calibration of the equipment overseas and the purchasing cost of the tools. Finally, the research shows the number of equipment that customers need to minimize the cost. This research will help to improve the efficiency of operation of weapon systems and solve the problems associated with the need for maintenance overseas.

**Keywords** : Calibration, Life Cycle Cost, M/M/1 model, Preventive Maintenance, Simulation

\*Corresponding Author : JUNGHO PARK(LIG Nex1)

Tel: +82-10-4912-7788 email: jungho.park01@lignex1.com

Received September 14, 2017

Revised (1st September 28, 2017, 2nd September 29, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

## 1. 서론

21세기 들어 무기체계는 새로운 전쟁양상의 변화와 첨단 과학기술의 발달 등으로 커다란 대변혁(Massive Transformation)이 급속도로 진행중에 있다[1]. 미래전은 탐지, 인식 및 타격 수단을 네트워크화하고 첨단 전자통신기술을 이용한 정보우위 달성, 신속 결전 작전, 승수 효과 달성을 위한 동시 및 통합작전이 예상된다[2]. 이로 인하여 군수비용의 급격한 증가 등으로 인해 국방경영이 급속히 고비용 환경으로 변화되고 있다[3]. 또한 전투장비가 첨단장비로 교체됨에 따라 평균 장비단가가 증가하고 대당 유지비도 점차 증가하는 추세이다. 그러나 장비 유지예산은 장비자산대비 그 비율이 감소하고 있어 장비 유지에 어려움이 있는 것으로 파악하고 있다. 이와 같이 국방경영이 고비용 환경이 됨에 따라, 장비유지예산에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 장비유지예산 비용 연구는 걸음마 수준의 단계이다.

본 연구에서는 항공기 무기체계의 정비장비를 중심으로 장비유지예산 비용을 연구하고자 한다. 레이더, 탐지장비 등의 첨단장비가 포함된 항공기 무기체계의 경우, 계측장비와 같은 정비장비를 통해서 주기적인 정렬 및 검교정을 진행해야 한다. 정비장비를 이용하여 항공기 무기체계의 정상적인 기능 작동을 확인 후, 효과적인 운용이 가능하다고 판단할 수 있다. 그리고 정비장비(계측장비)도 주기적인 검교정을 통해서 정비장비 자체의 정렬 및 상태 이상 유무를 확인해야 한다. 하지만 계측장비는 정밀한 측정을 위한 신뢰성이 요구되어 신뢰성이 입증된 해외업체의 계측장비를 구매하여 적용하는 것이 일반적이다[4]. 정비장비의 정렬 및 상태 이상 유무 확인절차를 위해서, 주기적으로 해외 외주정비를 보내야 한다. 운용부대에서 정비장비를 1대만 보유한 경우, 정비장비의 해외 외주정비(검교정) 기간 동안은 해당 항공기 무기체계의 정렬 및 검교정을 진행할 수 없고, 효과적인 운용이 어렵다고 볼 수 있다. 나아가 정비장비의 공백은, 항공기 무기체계의 가용도를 떨어뜨리는 영향을 줄 수 있다.

본 연구의 목적은 정비장비의 해외 외주정비기간동안 발생하는 항공기 무기체계 불가용 시간동안의 손실비용과 정비장비의 구매 비용을 비교하여, 적절한 정비장비의 구매 대수를 제시하는 것이다. 이를 통해 효율적 작전 수행 보장에 기여할 것으로 판단되며, 전력 공백 문제를

해결 가능한 방안이 될 것이다. 본 연구의 목적을 위하여 2장에서는 기회비용 측면에서 항공기 무기체계 손실비용을 추정하고, 정비장비의 해외 외주정비절차를 대기행렬 M/M/1 모델로 모형화하였다. 3장에서는 Excel을 활용하여 정비장비의 해외 외주정비절차를 시뮬레이션하였고, 최종적으로 항공기 무기체계 손실비용과 비교하여, 정비장비의 구매 대수를 제시한다.

## 2. 공식(Equation)으로 분석한 손실비용 및 정비시스템

### 2.1 항공기 무기체계 손실비용 설정

먼저 항공기 무기체계 불가용 시간 손실비용에 관한 직접적인 비용 연구는 미미한 것으로 확인되었으며, 기회비용측면에서 손실비용을 접근하였다.

본 연구에서는 소요군의 대형자산(전투기, 함정)에 대한 연간 기회비용을 측정하는 지표로서, 연간감가상각비를 활용했다. 민간산업에서 보유한 항공기, 선박 등의 자산 가치는 매년 감가상각비만큼 가치가 하락하게 된다. 이를 방위산업계에 적용해보면, 전투기 및 함정 등의 가치가 매년 하락한다고 볼 수 있다. 1년 동안 항공기 무기체계가 가용하던 불가용하던, 항공기 가치는 하락하게 된다고 볼 수 있다. 기회비용측면에서 항공기 무기체계 손실비용을 위한 가정은 아래와 같다.

[가정1] 항공기는 가용하던지 불가용하던지 상관없이 연간감가상각비만큼 가치하락이 된다.

[가정2] 항공기 무기체계가 불가용한 경우, 기회비용의 손실로 볼 수 있으며, 기회비용의 손실을 손실비용으로 본다.

본 연구에서는 항공기 및 항공기 탑재장비를 대상으로 선정하였고, 항공기 자산 가치에 대한 감가상각을 이용하였다. 일반적으로 민간산업에서 항공기의 자산가치를 평가할 때, 탑재되어 있는 기자재들까지도 항공기의 일부로 생각하여 항공기 가치평가와 동일하게 가치평가가 이루어진다.

본 연구에서도 항공기 탑재장비의 가치평가방법이 항공기의 가치평가방법과 동일하다고 생각하였다. 항공기 및 항공기 탑재장비의 기회비용에 대한 손실비용을 추정

하였으며, 동일한 방법의 감가상각비를 활용하였다. [가정1]과 [가정2]를 바탕으로 생각해 볼 때, 1년 동안 항공기 무기체계가 불가용하면 연간손실비용은 연간감가상각비와 같다.

민간산업 항공기의 감가상각비에 대해 살펴보자. 항공기에 대한 감가상각은 선형감가법에 의해 잔여가치를 0~15%로 하여 실시하는 것이 일반적이다. 대형 항공기의 경우 잔여가치를 10%로 하여 14~16년에 걸쳐 감가상각하며, 단거리 항공기는 8~10년에 걸쳐 감가상각하는 것이 일반적인데, 이는 항공기에 적용된 기술수준, 부품들의 수명 등에 따라 정해진 것이다[5]. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{연간감가상각비} = \frac{\text{항공기와 부품가격} + \text{잔여가치}(10\%)}{\text{감가상각기간}}$$

본 연구에서는 잔여가치는 10%, 감가상각기간은 16년으로 두고 분석하였다. 또한 [가정2]를 활용해서, 1일 손실비용을 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$\text{1일 손실비용} = \frac{\text{연간감가상각비}}{\text{연간운용일수}}$$

항공기 무기체계의 불가용 시간은 시스템(항공기 무기체계)의 비작동 시간으로 볼 수 있다. 시스템의 비작동 시간은 일반적으로 접근시간, 진단시간, 실제 수리시간, 마무리 점검시간 등과 같은 요소들의 합으로 여겨진다. 다양한 요소들의 소요시간은 접근 용이성, 수리 용이성, 수리 기술자의 기술수준, 수리장비, 예비품 재고수준과 같은 시스템의 특별한 요소에 의해 영향을 받는다. 그래서 특별한 고장과 관련된 비작동 시간은 이러한 모든 요소에 대한 정보를 기반으로 추정될 수 있다[6].

본 연구는 정비장비의 해외 외주정비로 인해 발생하는 항공기 무기체계의 손실비용을 추정하기 때문에, 불가용 시간은 해외 외주정비시간과 관련한 업무의 합으로 가정한다. 이를 표현하면 [가정3]과 같다.

[가정3] 항공기 무기체계의 불가용 시간은 정비 장비 해외입출고시간과 정비장비의 해외 외주정비 시간을 고려한다.

대상으로 선정한 항공기 및 항공기 탑재장비의 감가

상각기간은 16년, 연간운용일수는 250일이며 각각의 연간감가상각비와 1일 손실비용은 Table 1과 같다. 방위산업 보안상 문제로 OO사업으로 표기하였다.

Table 1. Summary of cost in OO Project

Name	Purchasing cost (won)	Annual Depreciation cost (won)	Daily loss cost (won)
Airplane	12,300,000,000	845,625,000	3,382,500
Radar	1,140,000,000	78,375,000	313,500

## 2.2 정비장비 검교정 설정

기존 연구에서 장비의 수명 및 정비시간에 대해서 여러 대기행렬이론을 활용하여 연구되었다. 대부분 모델에서 수명시간과 정비시간의 분포를 지수분포로 가정하였다[7].

본 연구에서도 정비장비의 수명시간과 정비시간의 분포를 지수분포로 가정하였고 대기행렬이론의 확률모형을 활용하여 분석하려고 한다. 확률모형을 활용하기 위해, 정비장비의 정비주기 및 정비시간 등에 대해서 아래와 같이 가정하였다

- [가정4] 정비장비의 정비(검교정)발생률은 포아송 과정(Poisson process)을 따른다.
- [가정5] 정비장비의 정비율은 지수분포(Exponential distribution)를 따른다.
- [가정6] 검교정 정비인력은 1명이다.
- [가정7] 검교정의 시스템용량(System capacity)은 무한(infinite)이다.
- [가정8] 검교정의 모집단 크기(size of calling population)는 무한(infinite)이다.
- [가정9] 정비시스템의 서비스규칙은 선입선출(First Come First Served)이다.

[가정4~9]를 바탕으로 생각해 볼 때, 정비장비의 정비 시스템은 포아송 과정을 따르는 정비발생률을 갖게 되며 지수분포를 따르는 정비율과 1명의 정비인력을 가진다. 또한 정비시스템의 시스템 용량은 무한이며, 서비스규칙은 선입선출을 갖게 된다. 이러한 정비시스템을 대기행렬의 모형화를 표기하는 경우, Kendall 기호 표시법을 사용하며, M/M/1/∞/FCFS로 표현 가능하다.

첫 번째 ‘M’은 정비발생률이 포아송과정이라는 의미이고, 두 번째 ‘M’은 정비율이 지수분포라는 의미이다.

세 번째 ‘1’은 정비인력의 숫자를 의미한다. 네 번째 ‘∞’은 시스템용량이 무한이라는 의미이며, 다섯 번째 ‘∞’은 모집단크기가 무한이라는 의미이다. 여섯 번째 ‘FCFS’는 서비스규칙이 선입선출이라는 의미이다. 시스템 용량이 ∞인 경우, 모집단크기가 ∞인 경우, 서비스규칙이 FCFS인 경우 모두 생략가능하다.

본 연구에서 M/M/1/∞/∞/FCFS 대신에 M/M/1을 사용한다. 그리고 정비시스템을 대기행렬로 표현했기 때문에, 대기행렬에서 시스템의 성능척도로 사용되는 평균도착시간간격, 평균서비스시간 등의 평균값을 사용하여 정비시스템의 성능평가를 수행한다. 대기행렬 M/M/1 변수는 Table 2과 같다.

Table 2. M/M/1 variables

Name	Variable	Remark
Arrival rate	$\lambda$	Arrivals occur at rate $\lambda$ to a Poisson process.
Mean Arrival time	$\frac{1}{\lambda}$	Expected value of arrival time to an exponential distribution when arrivals occur at rate $\lambda$ to a Poisson process.
Service rate	$\mu$	Service times have an exponential distribution with rate parameter $\mu$ .
Mean Service time	$\frac{1}{\mu}$	Expected value of an exponential distribution When service times have an exponential distribution with rate parameter $\mu$ .
Mean Waiting time	$W_q$	In a steady state, the average time spent waiting in the queue. $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$
Sojourn time	$W$	In a steady state, the average time spent in the system (in queue or process) $W = \frac{1}{\mu - \lambda}$

본 연구에서 정비장비의 정비주기, 정비시간 등 정비시스템이 M/M/1 이라고 하고, 고객은 “검교정 수행”, 서비스는 “정비 수행”이라고 한다. 이 때, 고객의 평균도착율(Arrival rate)은 평균값  $\lambda$ 를 갖는 포아송 과정(Poisson process)을 따른다. 평균도착율이 포아송 과정을 따를 때, 고객의 도착시간간격(Mean Arrival time)은 평균값  $\frac{1}{\lambda}$ 를 갖는 지수분포(Exponential distribution)를 따르게 된다.

정비율(Service rate)은 평균값  $\mu$ 를 갖는 지수분포(Exponential distribution)를 따른다. 정비율이 지수분포를 따를 때, 평균정비시간(Mean Service time)은  $\frac{1}{\mu}$  으

로 표현된다.

평균대기시간(Mean Waiting time)은 고객이 시스템에 도착한 시점에서부터 최초로 서비스받기 시작할 때까지의 시간을 말한다.

체제시간(Sojourn time)은 고객이 시스템에 도착한 시점부터 서비스를 받고 시스템을 이탈(departure)한 시점을 의미한다. 대부분의 경우 체제시간은 대기시간과 서비스시간을 합한 값이다.

확률모형을 활용하여 시스템을 분석하기 위해, 시스템은 안정상태(steady-state)여야 한다. 시스템이 안정상태가 아니라면, 특정시점에 고객(정비작업)이 과도하게 몰리거나 혹은 특정시점에 고객(정비작업)이 전혀 없다는 뜻이다. 이는 곧 시스템의 올바른 성능평가가 어려워지게 된다. 대기행렬시스템에서 안정상태에 이르기 위한 조건이 반드시 존재하는데 기본적으로 다음이 만족되어야 한다[8].

$$\lambda < \mu$$

$\lambda$  : 단위시간당 내보낼 수 있는 최대평균고객수  
 $\mu$  : 단위시간당 도착하는 평균고객수

다음 단계에서 항공기 및 항공기 탑재장비의 정비장비의 각 최대평균고객수(정비발생률)와 평균고객수(정비율)에 대해 확인하겠다. 이를 토대로, 항공기 및 항공기 탑재장비의 정비장비가 안정상태를 만족하는지 확인해보겠다.

### 2.3 정비장비의 M/M/1 모형화 설정

항공기 및 항공기 탑재장비의 정비장비 정비주기 및 정비시간은 Table 3과 같다. 방위산업의 보안상 문제로 OO사업으로 표기하였다.

Table 3. Summary of Maintenance equipments in OO Project

Name	Use	Maintenance Cycle	Maintenance time
Digital Protractor	Check inclination value of an actuator after exchange it	Every 4 month	3 weeks
Laser Power Meter	Measure of LDRF laser power	Every 12 month	6 weeks

Digital Protractor는 항공기 정비장비이고, Laser Power Meter는 항공기 탑재장비의 정비장비이다. 각 정

비장비의 정비주기(Maintenance Cycle)는 평균적으로 4개월에 1회, 12개월에 1회 발생한다. Drenick의 정리에 따르면, 개개 부품의 수명분포가 지수분포가 아니더라도 시스템의 수명분포는 비교적 넓은 조건 하에서 근사적으로 지수분포가 된다[9]. 정비장비 역시 개개의 부품의 조합으로 이루어져 있으므로, 정비장비의 수명분포가 지수분포를 따른다고 볼 수 있다. 해외 입출고 시간을 준비시간(setup time)으로 보았기 때문에, 정비시간(Maintenance time)은 해외 입출고 시간 및 실제 정비작업시간이 포함하여 산정되었다. 각각의 정비시간은 평균적으로 3주, 6주가 소요된다. 이를 각각 M/M/1 모형화하면 Table 4, Table 5와 같다.

Table 4. M/M/1 variables for Digital Protractor

Name	Variable	Remark
Arrival rate	$\lambda(A)$	1/120
Mean Arrival time	$\frac{1}{\lambda(A)}$	120 days
Service rate	$\mu(A)$	1/21
Mean Service time	$\frac{1}{\mu(A)}$	21 days
Mean Waiting time	$W_q(A)$	4.45 days
Sojourn time	$W(A)$	25.45 days

Table 5. M/M/1 variables for Laser Power Meter

Name	Variable	Remark
Arrival rate	$\lambda(B)$	1/365
Mean Arrival time	$\frac{1}{\lambda(B)}$	365 days
Service rate	$\mu(B)$	1/42
Mean Service time	$\frac{1}{\mu(B)}$	42 days
Mean Waiting time	$W_q(B)$	5.46 days
Sojourn time	$W(B)$	47.46 days

각 정비장비가 안정상태를 만족하는지 구해보자. Digital Protractor의 정비발생률( $\lambda(A)$ )은 1/120 이고 정비율( $\mu(A)$ )은 1/21 이다. 정비율이 더 크기 때문에, 안정상태에 도달가능한 정비장비이다.

Laser Power의 정비발생률( $\lambda(B)$ )은 1/365 이고 정비율( $\mu(B)$ )은 1/42 이다. 정비율이 더 크기 때문에, Laser Power meter도 안정상태에 도달가능한 정비장비이다.

### 3. 시뮬레이션으로 분석한 정비시스템

#### 3.1 M/M/1 모델 시뮬레이션 설정

2장에서 항공기 무기체계의 손실비용을 기회비용적인 측면으로 보았고, 감가상각비로 추정하였다. 또한, 2개의 정비장비 정비시스템을 대기행렬 M/M/1 으로 모형화하였다. 3장에서는 정비장비 구매 대수를 제시하겠다.

이를 위하여 대기행렬 M/M/1 모형에 대한 몬테카를로(Monte carlo)시뮬레이션을 Excel을 활용하여 수행하였다. 몬테카를로(Monte carlo)시뮬레이션은 모의실험 실행에 사용되는 숫자(입력변수 등)를 확률분포로부터 임의적으로 선택(난수에 의한 표본추출 등)하는 일종의 수학적 과정을 의미한다. 본 연구에서는 Excel을 활용하여, 지수분포를 따르는 난수를 생성시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 수행에 앞서, 정비절차에 대해서 순서도를 도식하였다. 해외 외주정비절차는 정비발생부터 정비완료까지 아래와 같은 흐름이다.

- (1) 정비발생시, 즉시 해외 원제작사쪽으로 입고
- (2) 정비인력(1명)을 가용여부 확인

\* 정비인력 가용시

- (3-1) 즉시 정비시작

\*\* 정비인력 불가용시 (직전 정비작업 진행중)

- (3-2) 직전 정비작업 완료까지 대기시간이 발생 직전 정비작업 완료 후, 즉시 정비시작

- (4) 정비완료 후, 즉시 고객사에게 출고

위의 순서도를 도식하면 Fig.1과 같다.

Fig.1의 순서도를 바탕으로 시뮬레이션을 구성할 때, 시뮬레이션은 크게 3가지 과정으로 볼 수 있다. 정비주기 생성과정(Maintenance Cycle process), 정비시간 생성과정(Maintenance work process), 정비시스템 분석과정(Maintenance Analysis)으로 나누어진다. 각각의 예시 및 상세과정은 다음 장에서 언급하겠다.

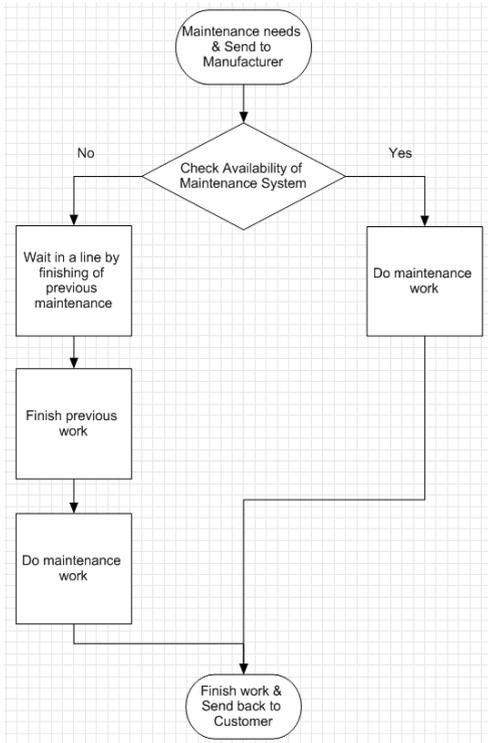


Fig. 1. Flow chart of maintenance work

### 3.2 M/M/1 모델 시뮬레이션 수행 (1)

정비장비의 정비주기는 지수분포를 따르며, 정비주기 생성과정의 예시는 Fig.2와 같다.

Maintenance Cycle process			
Product	Random Number	Maintenance Cycle	Arrived time at maintenance station
1	0.411733	63.668972	63.668972
2	0.533727	91.558169	155.227142
3	0.304300	43.540417	198.767559

Fig. 2. Maintenance Cycle process

정비주기 생성과정은 아래와 같은 흐름이다.

- (1) 난수(Random Number) 생성
- (2) 정비주기 시간간격(Maintenance Cycle) 생성
- (3) 정비시설 도착시간(Arrived time at maintenance station) 생성

대기행렬에서 단위시간당 도착하는 평균고객수(평균 도착율( $\lambda$ ))가 포아송 분포를 따르며, 그 고객의 도착시

간 간격은 지수분포를 따른다. 본 연구에서는 해외 외주 정비를 정비시스템의 고객으로 본다. 따라서 지수분포의 누적확률함수  $F(t)$  에 평균도착율( $\lambda$ )를 대입함으로써 어떤 고객(정비)이 도착하고 나서 다음 고객(정비)이 도착할 때까지 경과한 시간( $t$ )에 대한 확률을 계산할 수 있다.  $F(t)$ 는 시간  $t$ 에 대하여 풀 수 있으며 풀이과정은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 F(t) &= 1 - e^{-\lambda t} \\
 \Rightarrow e^{-\lambda t} &= 1 - F(t) \\
 \Rightarrow -\lambda t &= \ln(1 - F(t)) \\
 \Rightarrow t &= -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - F(t))
 \end{aligned}$$

위의 마지막 식을 활용하여 Excel 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 과정은 아래와 같다.

- (1) 함수를 활용하여 난수를 생성
- (2) 해당 난수를  $-\frac{1}{\lambda} \ln(1 - F(t))$ 의  $F(t)$ 에 대입하여, 정비장비의 정비주기 시간간격을 생성
- (3) 1번째 정비주기시점=1번째 정비주기 시간간격
- (4)  $i$ 번째 정비주기시점 ( $i \neq 1$ )= $i-1$ 번째 정비주기시점 +  $i$ 번째 정비주기 시간간격
- (5) 정비시설 도착시간=정비장비가 해외 정비시설에 도착한 시점

Digital Protractor를 예로 들어보자. Table 4의 평균 정비주기간격( $\frac{1}{\lambda(A)}$ )의 값 120과 난수를 식  $-\frac{1}{\lambda} \ln(1 - F(t))$ 에 대입하여 정비장비 정비주기 시간간격을 생성할 수 있다. 이렇게 생성한 정비장비 정비주기 시간간격은 지수분포를 따른다.

대기행렬 시뮬레이션을 수행시 정비시스템이 처음부터 안정상태라고 볼 수 없다. 일반적으로 ‘시간이 얼마나 흘러야 안정상태에 도달했다고 볼 수 있는가?’의 문제는 확률과정의 성격 및 초기상태에 의존하는 매우 중요하지만 어려운 문제다. 그렇지만 확률값의 변화율이 아주 작아지는 시점에 이르면 안정상태에 도달했다고 보아도 무리가 없다. 시스템에 따라서는 예상보다 훨씬 빨리 안정상태에 도달한다[8].

정비시스템이 안정상태에 도달 후 결과값을 보기 위

해, 본 연구에서는 1개의 정비장비가 1000번의 검교정을 실시한 경우를 시뮬레이션 1회 수행으로 고려하였다. 시뮬레이션 10회 수행의 평균값을 시뮬레이션의 최종 결과값으로 사용하였다.

### 3.2 M/M/1 모델 시뮬레이션 수행 (2)

정비장비의 정비시간은 지수분포를 따르며, 정비시간 생성과정의 예시는 Fig.3과 같다.

Maintenance work process				
Product	Random Number	Maintenance work time	Maintenance Start time	Maintenance Finish time
1	0.061584	1.334809	63.668972	65.003781
2	0.193942	4.527594	155.227142	159.754735
3	0.661322	22.736791	198.767559	221.504350

Fig. 3. Maintenance Cycle process

정비시간 생성과정은 아래와 같은 흐름이다.

- (1) 난수(Random Number) 생성
  - (2) 정비시간간격(Maintenance work time) 생성
  - (3) 정비시작시점(Maintenance Start time) 생성
  - (4) 정비종료시점(Maintenance Finish time) 생성
- 정비주기 생성과정과 동일하게, 난수를 생성한 후

$-\frac{1}{\lambda} \ln(1-F(t))$ 에 대입하였다. 지수분포를 따르는 정비시간을 생성하였고, 시뮬레이션 과정은 아래와 같다.

- (1) 함수를 활용하여 난수를 생성
- (2) 해당 난수를  $-\frac{1}{\lambda} \ln(1-F(t))$ 의 F(t)에 대입 하여, 정비시간간격을 생성
- (3) 1번째 정비시작시점=1번째 정비주기시점
- (4) 1번째 정비종료시점=1번째 정비시작시점+1번째 정비시간간격

- \* 정비인력이 가용한 경우 ( $i \neq 1$ )
  - (5-1) i번째 정비시작시점=i번째 정비주기시점
  - (6-1) i번째 정비종료시점=i번째 정비주기시점+i번째 정비시간간격

- \*\* 정비인력이 불가용한 경우 ( $i = 1$ )
  - (5-2) i번째 정비시작시점=i-1번째 정비종료시점
  - (6-2) i번째 정비종료시점=i번째 정비시작시점+i번째 정비시간간격

난수와  $-\frac{1}{\lambda} \ln(1-F(t))$ 를 활용하여 정비시간간격을 생성한 후, 정비시작시점과 정비종료시점을 생성한다. i번째 정비시작시점을 생성할 때, 정비인력(1명)의 가용성을 확인해야 한다.

정비인력이 가용한 경우(i-1번째 정비가 이미 종료), i번째 정비시작시점은 i번째 정비주기시점이 된다.

그러나 정비인력이 불가용한 경우(i-1번째 정비가 아직 작업중), i번째 정비시작시점은 i-1번째 정비종료시점이 된다. 이렇듯 정비인력이 불가용한 경우, 대기시간이 발생하게 된다.

### 3.3 M/M/1 모델 시뮬레이션 수행 (3)

정비시스템 분석과정에서는 대기시간의 발생유무와 총정비시간을 생성하였고, 예시는 Fig.4와 같다.

Maintenance Analysis process		
Product	Waiting time for Maintenance	Total maintenance time
1	0.000000	0.260452459
2	0.000000	23.77351698
3	11.278518	24.19964305

Fig. 4. Maintenance Cycle process

정비시스템 분석과정은 아래와 같은 흐름이다.

- (1) 정비대기시간(Waiting time for maintenance)

\* 정비인력이 가용한 경우

정비대기시간=0

\*\* 정비인력이 불가용한 경우

정비대기시간=정비시작시점-직전정비종료시점

- (2) 총정비시간(Total maintenance time)=정비종료시점-정비시설 도착시간

정비인력이 가용한 경우, 정비대기시간은 발생하지 않는다. (정비대기시간=0) 그러나 정비인력이 불가용한 경우(직전 정비 작업중), (정비시작시점-직전정비종료시점)만큼 정비대기시간이 발생한다.

총정비시간은 정비종료시점에서 정비시설 도착시간의 뺀 값이다. 그래서 총정비시간은 (정비대기시간+정비시간)을 의미한다.

### 4. 결론

#### 4.1 시뮬레이션 결과 해석

해외 외주정비절차를 M/M/1 시뮬레이션으로 수행하였다. 불편향한(unbiased) 결과값을 위해서, 10회 수행 후 평균값을 내었다.

그리고 시뮬레이션 평균값을 대기행렬이론 수식의 결과값과 비교하였다. 1회 시뮬레이션 수행시 예시자료는 Fig.5와 같다. Fig.5에는 15번째 정비발생까지 표기하였지만, 실제로는 1000번째 정비발생까지를 수행하였다. Table 6, Table 7은 각각 Digital Protractor와 laser Power Meter의 10회 시뮬레이션의 평균값이다.

Table 6. M/M/1 for Digital Protractor with Simulation and Formula

Name	Variable	Remark (days)
Mean Arrival time	$\frac{1}{\lambda(A)}$	120
Mean Service time	$\frac{1}{\mu(A)}$	21
Mean Waiting time	$W_q(A)$	4.45
Sojourn time	$W(A)$	25.45
Mean of maintenance cycle (Mean Arrival time)	Mean value of Simulation	120.92
Mean of maintenance time (Mean Service time)	Mean value of Simulation	21.39
Mean of waiting time for maintenance (Mean Waiting time)	Mean value of Simulation	4.65
Mean of total maintenance time (Sojourn time)	Mean value of Simulation	26.03

Table 7. M/M/1 for Laser Power Meter with Simulation and Formula

Name	Variable	Remark (days)
Mean Arrival time	$\frac{1}{\lambda(B)}$	365
Mean Service time	$\frac{1}{\mu(B)}$	42
Mean Waiting time	$W_q(B)$	5.46
Sojourn time	$W(B)$	47.46
Mean of maintenance cycle (Mean Arrival time)	Mean value of Simulation	365.33
Mean of maintenance time (Mean Service time)	Mean value of Simulation	41.93
Mean of waiting time for maintenance (Mean Waiting time)	Mean value of Simulation	6.23
Mean of total maintenance time (Sojourn time)	Mean value of Simulation	48.16

시뮬레이션의 평균정비주기(Mean of maintenance cycle), 평균정비시간(Mean of maintenance time)등의 10회 평균값들이 대기행렬이론 수식의 이론값과 근사하게 나왔다. 시뮬레이션의 결과값이 이론적인 수식의 결과값과 유사한 경향을 보였기 때문에, 시뮬레이션의 결과값은 신뢰할 만하다고 볼 수 있다.

#### 4.2 정비장비 구매 대수 결정

시뮬레이션의 평균값으로 따르면, 각각의 정비장비는 26.03 (~ 27)일, 48.16 (~ 49) 일 동안 해외 외주정비기간이 발생한다. 이 기간은 해외 외주정비주기 1회동안 기간이다.

Maintenance Cycle process				Maintenance work process					Maintenance Analysis process		
Product	Random Number	Maintenance cycle	Arrived time at maintenance station	Product	Random Number	Maintenance work time	Maintenance Start time	Maintenance Finish time	Product	Waiting time for maintenance	Total maintenance time
1	0.368426	167.732386	167.732386	1	0.040370	1.730707	167.732386	169.463092	1	0.000000	1.730706753
2	0.964346	1216.867604	1384.599990	2	0.743128	57.085434	1384.599990	1441.685423	2	0.000000	57.08543354
3	0.248156	104.107531	1488.707520	3	0.919859	106.006648	1488.707520	1594.714168	3	0.000000	106.0066479
4	0.618019	351.270194	1839.977715	4	0.793385	66.229783	1839.977715	1906.207497	4	0.000000	66.22978259
5	0.232706	96.683107	1936.660822	5	0.457168	25.660128	1936.660822	1962.320950	5	0.000000	25.66012801
6	0.119700	46.534904	1983.195726	6	0.210378	9.920424	1983.195726	1993.116150	6	0.000000	9.92042418
7	0.101971	39.256783	2022.452509	7	0.360059	18.747928	2022.452509	2041.200437	7	0.000000	18.74792836
8	0.104961	40.474123	2062.926632	8	0.859267	82.357506	2062.926632	2145.284138	8	0.000000	82.35750574
9	0.253466	106.694625	2169.621257	9	0.360989	18.808997	2169.621257	2188.430254	9	0.000000	18.80899701
10	0.982320	1472.893654	3642.514911	10	0.769858	61.700402	3642.514911	3704.215313	10	0.000000	61.70040247
11	0.115043	44.608992	3687.123902	11	0.652328	44.372823	3704.215313	3748.588136	11	17.091411	61.46423391
12	0.126291	49.277782	3736.401685	12	0.792862	66.123620	3748.588136	3814.711756	12	12.186451	78.31007115
13	0.447752	216.721708	3953.123393	13	0.489270	28.220406	3953.123393	3981.343799	13	0.000000	28.2204063
14	0.176610	70.928682	4024.052075	14	0.353199	18.300090	4024.052075	4042.352165	14	0.000000	18.30009034
15	0.395265	183.582230	4207.634304	15	0.455116	25.501629	4207.634304	4233.135933	15	0.000000	25.50162857

Fig. 5. Example of Maintenance System Simulation

즉, 1년동안 발생하는 해외 외주정비기간은 81 (=27×3)일, 49(=49×1) 일이다. 연간 해외 외주정비기간동안 항공기 및 항공기 탑재장비의 손실비용은 Table 8 과 같으며, 이는 정비장비를 1대만 보유했을 경우에 발생하는 항공기 무기체계 손실비용이다.

**Table 8.** Summary of loss cost in OO Project by maintenance overseas

Name	Daily loss cost (won)	Days for annual maintenance	Total loss cost (won)
Airplane	3,382,500	81	273,982,500
Radar	313,500	49	15,361,500

Digital Protractor의 연간 해외 외주정비기간은 81일 이고, 이로 인한 항공기의 손실비용은 약 2.73억 (=3,382,500×81)원이다. Laser Power Meter의 연간 해외 외주정비기간은 49일이고, 이로 인한 항공기 탑재장비의 기회손실비용은 약 0.15억(=313,500×49)원이다.

정비장비를 추가 구매한 경우의 각각의 손실비용 변화는 Table 9, Table 10과 같다.

**Table 9.** Summary of change of loss cost in OO Project by alternative Digital Protractor

Number of Equipments	Total purchasing cost (won)	Total loss cost (won)	Total cost (won)
1	539,000	365,310,000	365,849,000
2	1,078,000	0	1,078,000
3	3,234,000	0	3,234,000

**Table 10.** Summary of change of loss cost in OO Project by alternative Laser Power Meter

Number of Equipments	Total purchasing cost (won)	Total loss cost (won)	Total cost (won)
1	6,000,000	15,361,500	21,361,500
2	12,000,000	0	12,000,000
3	18,000,000	0	18,000,000

Digital Protractor의 1대 구매비용은 53만9천원이다. 이 때 발생하는 손실비용은 3억6천531만원이며, 총비용은 구매비용과 손실비용은 합친 3억6천584만9천원이다.

2대를 구매한 경우, 구매비용은 107만8천원이고, 손실비용은 0원이다. 정비장비 1대를 해외 외주정비를 보냈다고 하더라도, 나머지 1대로 항공기 무기체계를 정렬 및 검교정이 가능하기 때문이다. 결과적으로 항공기의 정상운용이 가능하고, 손실비용이 발생하지 않는다. 총비용은 1대에 비하여 감소하였다.

3대를 구매한 경우, 구매비용은 323만4천원이고, 손실비용은 0원이다. 정비장비 2대의 경우와 마찬가지로, 항공기의 정상운용이 항상 가능하기 때문에 손실비용이 발생하지 않는다. 총비용은 1대에 비하여 감소하지만, 2대에 비하면 상승하였다. 총비용을 고려할 때, Digital Protractor의 구매 대수는 2대일 때 최저비용을 갖기 때문에, 2대를 구매해야 하겠다.

Laser Power Meter의 1대 구매비용은 600만원이다. 이 때 발생하는 손실비용은 1천536만1500원이며, 총비용은 구매비용과 손실비용은 합친 2천136만1500원이다.

2대를 구매한 경우, 구매비용은 1천200만원이고, 손실비용은 0원이다. 정비장비 1대를 해외 외주정비를 보냈다고 하더라도, 나머지 1대로 항공기 무기체계를 정렬 및 검교정이 가능하기 때문이다. 결과적으로 항공기 탑재장비의 정상운용이 가능하고, 손실비용이 발생하지 않는다. 총비용은 1대에 비하여 감소하였다.

3대를 구매한 경우, 구매비용은 1천800만원이고, 손실비용은 0원이다. 정비장비 2대의 경우와 마찬가지로, 항공기 탑재장비의 정상운용이 항상 가능하기 때문에 손실비용이 발생하지 않는다. 총비용은 1대에 비하여 감소하지만, 2대에 비하면 상승하였다. 총비용을 고려할 때, Laser Power Meter의 구매 대수는 2대일 때 최저비용을 갖기 때문에, 2대를 구매해야 하겠다.

### 4.3 향후 연구방향

본 연구는 대기행렬이론을 시뮬레이션으로 수행하여, 해외 외주정비가 필요한 정비장비의 구매 대수를 결정하였다.

본 연구에서는 기회비용측면에서의 항공기 무기체계 손실비용을 추정했다는 점과 정비장비의 구매 대수를 대기행렬이론으로 추정했다는 점에 의의가 있다. 나아가 복잡한 대기행렬이론을 이해하지 못하더라도, 정비장비의 정비주기 및 정비시간에 대한 값을 알고 있다면, 본 연구에서 제작한 시뮬레이션 S/W를 활용하여 손쉽게 정비장비 정비주기 및 정비율을 산출하고 정비장비 구매 대수를 결정할 수 있게 되었다. 후속 연구에서는 다양한 형태의 분포를 따르는 검교정 주기 및 정비시간에 대한 연구를 수행하고, 정비인력이 2명이상인 경우를 고려하여, 본 연구의 약점을 보완할 것이다.

## References

- [1] S. H. Baek, W. J. Jang. Defense & Technology, pp. 96-107, Korea Defense Industry Association Publisher, 2010.
- [2] Sang-min Kim, Moon-gul Lee, "Military Aircrafts Proper Quantity Decision Model Using Simulation Analysis", *Journal of the Korea Society for Simulation*, vol. 24, no. 3, pp. 151-161, December, 2014.
- [3] Myoungjin Choi, Daeil Kwon, Jeakyung Yang, "A Scheme on applying IT technology for TLCSM improvements", *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, vol. 17, no. 12, pp. 26-33, December, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.26>
- [4] Jeonggyu Yang, Jeongtaek Kim, "A Study on the Internal Measuring Device for Minimized Field Maintenance systems", *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 358-359, November, 2012.
- [5] GwangUi Yu. 21C Aviation Transport Industry and Airline, p. 181, Baek-San Publisher, 2005.
- [6] SunKeun Seo, HoKyun Kim, HyukMoo Kwon, MyoungSoo Cha, WonYoung Yoon. Reliability Engineering, pp. 246-247, Kyobo bookstore Publisher, 2008.
- [7] Yves Dallery, "On modeling failure and repair times in stochastic models of manufacturing systems using generalized exponential distributions", *Queueing Systems*, vol. 15, pp. 199-209, 1994.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01189237>
- [8] HoWoo Lee. Queueing theory, p. 286, Sigma press Publisher, 2006.
- [9] Oh-Woon Kwon, Hong-Chul Lee, "A study on the Selecting Model of Maintenance Methodology for Establishing the Optimized Maintenance Policy of Facilities", *9th Conference of The Korean Institute of plant engineering*, October, 2004.

---

### 박 정 호(JUNGHO PARK) [정회원]



- 2011년 8월 : 건국대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2013년 8월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과 (공학석사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

Reliability Engineering, M&S, Cost Analysis

---

### 이 익 도(IKDO LEE) [정회원]



- 2001년 2월 : 성균관대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2009년 8월 : 성균관대학교 기술경영학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 수석연구원

<관심분야>

Reliability Engineering, M&S, ILS

---

### 박 연 경(YEONKYOUNG PARK) [정회원]



- 2006년 8월 : 고려대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2006년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

Reliability Engineering, M&S, ILS

---

### 김 두 정(Du-Jeong Kim) [정회원]



- 2012년 2월 : 성균관대학교 시스템경영공학과 (공학학사)
- 2014년 2월 : 성균관대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

HCI, UX, Accessibility, Ergonomics