

## 항공기 운용 특성을 고려한 적정 운용 대수 산정 기준 연구

손영수<sup>1)</sup> · 김성우<sup>\*,2)</sup> · 윤봉규<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한·미연합사령부

<sup>2)</sup> 국방대학교 운영분석학과

### A Study on the Criteria to Decide the Number of Aircrafts Considering Operational Characteristics

Young-Su Son<sup>1)</sup> · Seong-Woo Kim<sup>\*,2)</sup> · Bong-Kyoo Yoon<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ROK-US Combined Forces Command, Korea

<sup>2)</sup> Korea National Defense University, Korea

(Received 15 October 2013 / Revised 2 January 2014 / Accepted 17 January 2014)

#### ABSTRACT

In this paper, we consider a method to access the number of aircraft requirement which is a strategic variable in national security. This problem becomes more important considering the F-X and KF-X project in ROKAF. Traditionally, ATO(Air Tasking Order) and fighting power index have been used to evaluate the number of aircrafts required in ROKAF. However, those methods considers static aspect of aircraft requirement. This paper deals with a model to accommodate dynamic feature of aircraft requirement using absorbing Markov chain. In conclusion, we suggest a dynamic model to evaluate the number of aircrafts required with key decision variables such as destroying rate, failure rate and repair rate.

Key Words : Discrete-time Markov Chain, Aircraft Assessment, Dynamic Feature

#### 1. 서론

전투기는 공군의 핵심전력으로 적정 대수와 높은 운용 가용도를 유지하는 것이 필수적이다. 최근 군(軍)은 노후 전투기를 대체하고 신규 전투기를 구매하고자 F-X 3차 사업을 진행 중에 있다. 그리고 한국형 전투

기를 위한 체계개발을 위하여 준비 중이다. 현재 실시하고 있는 F-X와 KF-X 사업은 북한 군사위협 및 주변국의 고성능 전투기 확보에 대한 대응뿐만 아니라 양적으로 우세한 북한 항공전력 대응과 노후 전투기 도태에 따른 대체전력을 마련하기 위한 필요성을 가지고 있다. 또한, F-X와 KF-X 사업은 도태전력의 공백을 최소화하여 국방 대비태세에 차질을 제거할 뿐만 아니라 대규모 투자효과 유발 및 항공 산업 발전의 극대화를 도모할 수 있다. 첨단전력 증강, 선진군

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

사기술 확보, 절충교역 확대, 방산수출 진흥 등 대규모 군사, 경제, 산업, 수출 효과 등 다양한 효과를 거둘 수 있다.

한편 F-X와 KF-X 사업은 중요한 두 가지 의사결정 사항이 있다. 하나는 기종 선택이고 다른 하나는 선택만큼 중요한 도입대수를 결정하는 것이다. F-X와 KF-X 사업은 국가의 경제적, 전략적으로 추진되는 사업이지만 기존 적정항공기 대수의 판단은 단기적이고 단순히 전투효과 지수와 항공기 대수에 비례한 방법을 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 항공기 운영의 동적특성을 강조하여 운용 시점별로 피격률, 고장률, 수리율을 동시에 고려하고 작전시간을 반영한 항공기 적정대수 산출 방법을 제시하여 저비용으로 효과를 높일 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

기존의 항공기의 적정대수 판단은 두 가지가 활용되었다. 첫째 방법은 항공임무 판단서<sup>1)</sup>의 임무수행 측면을 고려한 방법으로 한·미 연합전력으로 승리를 보장하기 위한 전투기 최소 소요 전력을 기준으로 적정대수로 판단하는 방법으로 가용 항공대수와 일일 출격을 등을 고려한 방법이다. 두 번째 방법은 전력지수 비교를 통한 적정대수 판단하는 방법으로 전력지수는 전투효과지수에서 보유대수에 비례한 값으로 측정한다. 이런 방법은 항공기의 전력 지수만이 활용되므로 가용 항공기의 피격이나 고장과 같은 운용 특성을 고려하고 있지 못하는 단점이 있다.

한편, 적정 항공기 대수 산정과 관련한 이론적인 연구는 최적화 기법을 활용한 연구가 주를 이루고 있다. 국내 연구로는 박재규<sup>1)</sup>가 선형계획법을 이용하여 전시 지상표적을 완전히 파괴하면서 피격에 의한 손실비용을 최소화하기 위한 공대지 임무 항공기의 소요를 판단하였으며, 송창희<sup>2)</sup>는 전쟁 초기(D+3일) 제한된 전력으로 근접항공지원 임무 시 공격과 방어를 성공적으로 수행하기 위해 지상군 지휘관이 요청한 파괴요구수준 달성과 아군 항공기의 손실비용을 최소화하는 최적할당 모형을 제시하였다. 해외 연구로는 Ghose<sup>3)</sup>는 불확실성이 존재하는 큰 규모의 전장지역에서 다수의 무인항공기를 운용한다고 가정할 때 모기지 위치의 제약을 둔 상태에서 탐색의 효과를 최대화

할 수 있는 방안을 제시했다. 최적화 기법이 아닌 확률 모형을 활용한 연구로는 임종두<sup>4)</sup>가 몇 가지 단계로 구성되는 UAV 운용 특성을 반영할 수 있는 이산시간 마코비안 도착과정으로 무인항공기가 피격 될 때까지의 운용시간 분포를 제공할 수 있는 모형을 제시했다.

항공기의 적정대수를 산정하는 연구는 기계 설비나 서버의 적정소요를 결정하는 연구와 유사하며 적정 설비 수준을 결정하는 연구는 시뮬레이션, 대기행렬 등의 기법을 통해 다양한 연구가 이루어졌다. 특히 군에서는 수리 부족이나 재고 수준 결정에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 민간 분야에서는 적정 통신 설비 소요에 관한 연구가 주로 이루어졌다<sup>5,6)</sup>. 그리고 마코프체인을 활용한 적정 서버나 설비의 수를 결정하는 연구는 Shaler and Richard<sup>7)</sup>에 자세히 소개되어 있다.

기존의 항공기 적정소요에 관한 연구나 재고나 기계의 적정대수를 결정하는 모형은 특정 임무(공대지, 근접항공지원)에 국한되어 분석을 수행하거나 시간에 따른 동적 특징을 반영하지 못해 전시 항공 전력의 적정 운용 대수 결정에는 충분한 정보를 제공하기 어렵다. 본 연구에서는 흡수 마코프체인(Absorbing Markov Chain, MC)을 활용하여 적정항공기 대수의 판단에 있어 효과적인 운용률을 판단하기 위해 기존의 단기적이고 단순한 전투효과 지수와 비례하는 정적인 방법이 아닌 시점별로 의사 결정이 가능한 모형을 제시하였으며, 이를 활용하여 피격률, 고장률, 수리율과 항공기 대수와의 관계를 분석했다. 이를 위해 2장에서는 흡수 마코프 체인에 대한 개념을 살펴보고, 3장에서는 항공기 적정소요판단을 위한 모형을 제시한다. 4장에서는 제시한 모형을 바탕으로 피격률, 고장률, 수리율에 따른 항공기 운용률의 변화를 살펴보고 이를 기초로 항공기 적정 소요를 산정한다.

## 2. 이산시간 흡수 마코프 체인

상태공간  $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ 에서 정의되는 마코프체인  $\{X_n, n \geq 0\}$ 을 생각하자.  $A = \{r, \dots, N-1, N\}$ 은 흡수 상태들의 집합  $A^c = \{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ 은 일시상태들의 집합이라고 하면 전이확률이 다음 식 (1)과 같이 구성되는 마코프 체인을 흡수 마코프 체인이라고 한다.

1) 기계획 항공임무명령서(Pre-ATO : Prepositioned Air Tasking Order) : 초전 3일간 운용되는 중심전투자산을 효율적으로 운용하기 위한 연합자산 운용계획서

$$P = \begin{bmatrix} Q & R \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (1)$$

$[O]_{ij}$ 를 행렬의  $i$ 행  $j$ 열 원소라고 정의하면  $[Q]_{ij}$ 는 transient 상태들 간의 전이확률을 나타내고  $[R]_{ij}$ 는 transient 상태에서부터 흡수상태로 전이하는 확률을 나타낸다. 또한, 아랫부분의 0행렬은 흡수상태에서 transient 상태로 전이하는 확률이 0임을 나타낸다.  $I$ 는 단위행렬이다. 식 (1)을  $n$ 번 곱하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} Q^n & (I + Q + \dots + Q^{n-1})R \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)로 부터 일시상태에서 시작해서  $n$ 번 전이 후에 일시상태에 있을 확률은  $Q^n$ 으로 부터, 흡수상태에 있을 확률은  $(I + Q + Q^2 + \dots + Q^{n-1})R$ 로부터 얻을 수 있음을 알 수 있다.

$[E]_{ij}$ 를  $i$ 상태에서 시작해서 흡수 될 때까지  $j$ 를 방문한 횟수로 정의하면  $[Q^n]_{ij}$ 이  $n$ 번 만에  $j$ 를 방문할 확률이고 방문할 때 마다 방문 횟수 1회가 누적되므로,  $[E]_{ij}$ 는 식 (3)과 같다<sup>[8]</sup>.

$$[E]_{ij} = [Q]_{ij} + [Q^2]_{ij} + [Q^3]_{ij} + \dots + [Q^\infty]_{ij} \quad (3)$$

식 (3)을 간단히 하면 식 (4)와 같다.

$$E = Q + Q^2 + Q^3 + \dots + Q^\infty = (I - Q)^{-1} \quad (4)$$

식 (4)에서 일시상태  $i$ 에서 시작해서 흡수 될 때 까지 걸린 총시간은 흡수 될 때 까지  $A = \{1, 2, \dots, r-1\}$ 를 방문한 총시간의 합이므로 식 (5)와 같이 유도된다.

$$\sum_{k=1}^{r-1} [E]_{ik} = \sum_{k=1}^{r-1} [(I - Q)^{-1}]_{ik} \quad (5)$$

한편,  $[P_a^{(n)}]_{ij}$ 를 일시상태  $i$ 에서 시작해서  $n$ 번만에  $j$ 로 흡수 될 확률로 정의하면 마지막 전이에 조건을 걸어서 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$[P_a^{(n)}]_{ij} = \sum_{k=1}^r [Q^{n-1}]_{ik} [R]_{kj} \quad (6)$$

식 (6)을 행렬의 곱셈의 정의를 활용해 재정리하면 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_a^{(n)} = Q^{n-1}R \quad (7)$$

$A_{ik}$ 을 일시상태  $i$ 에서 시작하여 결국 흡수상태  $k$ 로 흡수되는 확률 행렬이라고 하고  $[A]_{ij} = \sum_{n=1}^{\infty} [P_a^{(n)}]_{ij}$ 이므로 다음 식 (8)를 유도할 수 있다.

$$A = [I + Q + Q^2 + \dots + Q^\infty]R = (I - Q)^{-1}R \quad (8)$$

### 3. 항공기의 적정소요 산정모형

시스템에는  $N$ 대의 항공기가 있다. 일정한 시간(24시간 기준)내  $N$ 대의 항공기가 운용되고 항공기의 피격과 고장은 배치 베르누이 과정(Batch Bernoulli Process)에 따라 발생하며 고장난 항공기의 수리시간은 평균  $1/s$ 인 기하분포를 따른다. 각각의 항공기는 피격과 고장이 독립적으로 발생하고 임무를 수행중인 항공기내에서 피격과 고장의 가능성이 동시에 존재한다. 단, 항공기의 피격대수와 고장대수는  $N$ 대를 넘지 못하고 고장난 항공기는 당일 임무에 투입되지 못한다. 예를 들어 임무 중인 항공기 3대 중 2대가 고장이 났다면 임무를 할 수 있는 항공기는 1대로 줄어들게 된다. 고장난 항공기는 정비팀(수리)에 의해 당일 수리를 하지만 임무에 즉시 투입될 수 없고 나머지 1대 항공기는 임무수행이 가능하고 고장과 피격의 가능성을 가지고 임무를 한다. 그리고 안전한 공간에서 수리중인 항공기는 피격이 일어날 수 없다고 가정한다. 또한, 3대의 항공기에서는 고장과 피격의 합이 3을 넘을 수는 없다고 가정한다. 피격된 항공기는 임무에 투입될 수 없기 때문에 항공기가 줄어든 상태에서 임무를 실시한다. 따라서 고장율과 피격율이 증가할 수 있다.

지금까지 알아본 내용을 토대로 모형에 쓰이는 기호를 정리하면 Table 1과 같다.

상태를  $(D, F)$ 로 정의하고 3대의 항공기(고객)를 기준으로 운용했을 때 작성한 전이확률 다이어그램은 Fig. 1과 같다.

Table 1. Notations

Symbol	Definition	Note
$N$	No. of Aircraft	
$D$	No. of destroyed Aircraft	
$F$	No. of failed Aircraft	
$d_i$	Aircraft destroy rate	, $(i = 1, 2, \dots, N)$
$f_i$	Aircraft failure rate	, $(i = 1, 2, \dots, N)$
$d_0$	No aircraft destroy rate	, $(1 - \sum_{k=1}^N d_k)$
$f_0$	No aircraft failure rate	, $(1 - \sum_{k=1}^N f_k)$
$s_i$	Aircraft service rate	

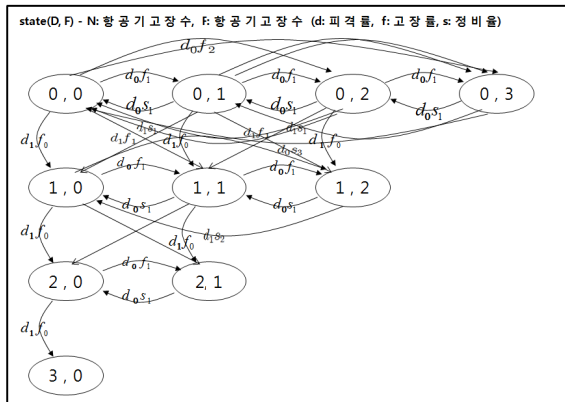


Fig. 1. Transition probability diagram(N=3)

위에서 같이 (0,0)에서 (0,1)로 전이확률( $d_0f_1$ )은 항공기 피격이 한 대도 되지 않고 고장만 한 대 나는 경우이며, (0,1)에서 (0,0)로 전이확률( $d_0s_1$ )은 항공기가 한 대도 피격되지 않고  $s_1$  수리율로 복구되는 것을 나타낸다. (1,0)에서 (0,0)은 항공기가 한 대 파괴된 상태에서 복구가 되지 않기 때문에 전이확률이 존재하지 않는다.

위에서의 전이확률 다이어그램을 행렬로 전환하면 이산시간 흡수마코프 체인의 정의에 의해 행렬에서 흡수까지 걸리는 시간과 흡수시점을 판단할 수 있다. Fig. 2는 Fig. 1의 전이확률 다이어그램을 전이확률 matrix로 표현한 것이다. Fig. 2에서 Q는 일시상태 (Transient State)들 간의 전이행렬을, R은 일시상태로

부터 흡수상태로 전이하는 확률을 원소로 갖는 행렬을 나타낸다. 흡수될 때까지 걸리는 시간은 식 (4)과 같이  $E = (I - Q)^{-1}$ 이고 식 (8)과 같이  $A = E \cdot R = (I - Q)^{-1} \cdot R$ 에서 흡수시점을 구할 수 있다.

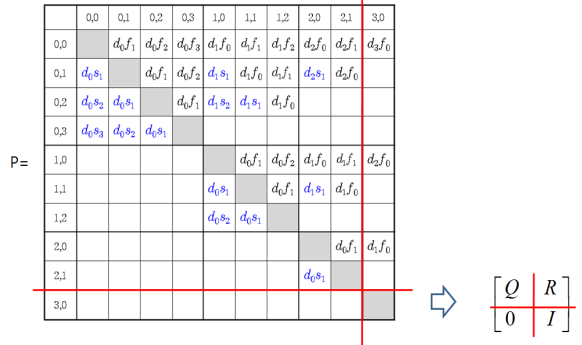


Fig. 2. Absorbing Markov Chain matrix

#### 4. 항공기 적정 소요 판단 방안 모형

본 장에서는 제 3장에서 제시한 모형을 바탕으로 피격률, 고장률, 수리율에 따른 항공기 운용률의 변화를 살펴보고 항공기 적정 소요에 대한 시사점을 살펴본다.

본 연구에서는 항공기 20대를 대상으로 3가지 요소에 따른 항공기 운용률의 변화를 분석하였으며 각 요소의 범위는 국내에 관련된 자료가 없어 Table 2를 참조하여 그에 따라 피격률, 고장률, 수리율의 범위를 설정하여 분석했다.

Table 2. Aircraft destroy rate in war

년도	전쟁명	해당국	피격률(%)
1950	한국전	미 국	0.44
1966	월남전	미 국	0.35
1967	월남전	미 국	0.3
1968	월남전	미 국	0.15
1971	인도/파키스탄전	인 도	1.25
1973	중동전	이스라엘	1
1991	걸프전	미 국	0.04

출처 : ‘GULF 전쟁’, 합동참모본부, 1992, pp. 254-356

Table 2에서 한국전과 월남전 등 미국이 주도한 전쟁은 피격률이 매우 낮으나 이는 일반적인 공중우세를 확보한 전투로써 그에 따른 항공기의 피격률이 낮은 것으로 판단되어 중동전과 인도/파키스탄전을 기준으로 피격률을 0.01~0.05(1%~5%)로 참조하였다. 그리고 전시에 고장률에 대한 관련 근거가 없기 때문에 피격률과 같이 동일하게 설정하였고, 수리율은 0.1~0.5(10%~50%)을 3단계(0.1, 0.3, 0.5)로 나누어서 자료를 분석하였다. Table 3과 같이 범위를 설정한다.

Table 3. Destroy rate, Failure rate, Service rate

분류	단계	1	2	3
	피격률		0.01	0.03
고장률				
수리율		0.1	0.3	0.5

4.1 개별변수에 따른 운용률 변화 분석

본 논문의 전시의 시나리오를 가정하였으며 먼저 전시의 징후가 보이면 작전 표적에 대한 임무를 부여하기 위해 각 항공기의 개별변수(수리율, 고장률, 피격률)에 대한 운용률의 변화를 알아보고 둘째, 전시초 공중 주도권 확보를 위해 항공기 투입시 피격률과 고장률이 증가하면 이를 상쇄할 수 있는 수리율 변동에 대해 알아보았다. 셋째 전시 30일 경과한 시점에서 지휘관의 지시로 항공기 운용률을 80%이상 유지하기 위해 세가지 요소(수리율, 고장률, 피격률)의 관계를 알아보고, 마지막으로 생존성이 뛰어난 A Type 항공기와 수리율이 좋은 B Type 항공기가 출격했을 때 시간의 흐름에 따른 상대적인 비교를 통해서 운용률의 변화를 살펴보았다.

4.1.1 수리율 변동에 따른 분석

Fig. 3은 수리율 0.1(10%)를 기준으로 3배/5배로 변화시키며 결과를 살펴보았다.

결과는 120일을 기준으로 한 운용률이 84.48%에서 86.28%, 86.6%로 1.8%, 2.12% 상승하였다. 수리율의 상승으로 인한 항공기의 운용률에 영향을 미치는 정도가 미비하다는 것을 알 수 있다.

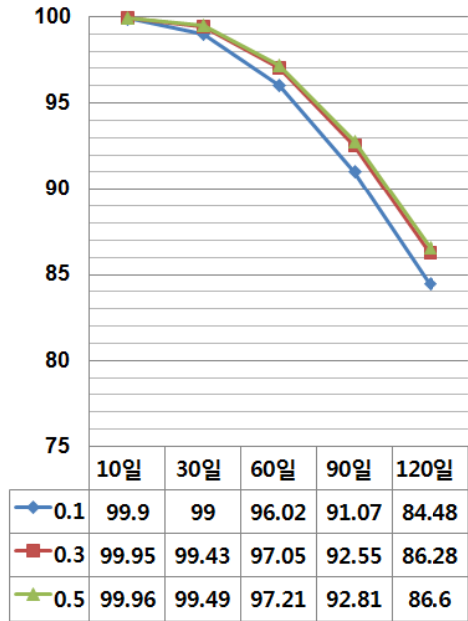


Fig. 3. Operating rate of service rate

4.1.2 고장률 변동에 따른 분석

Fig. 4는 고장률 0.1(10%)를 기준으로 3배/5배로 변화시키며 결과를 살펴보았다.

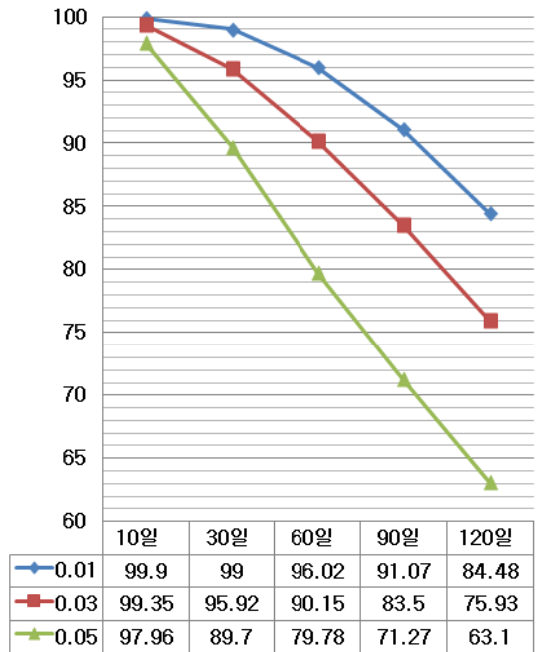


Fig. 4. Operating rate of failure rate

결과는 120일을 기준으로 한 운용률이 84.48%에서 75.93%, 63.1%로 8.55%, 12.83% 감소하였다. 운용률과 고장률은 반비례하며 고장률 상승으로 인한 항공기의 운용률에 미치는 영향이 수리율에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

4.1.3 피격률 변동에 따른 분석

Fig. 5는 피격률을 0.1(10%)를 기준으로 3배/5배로 변화시키며 결과를 살펴봤다.

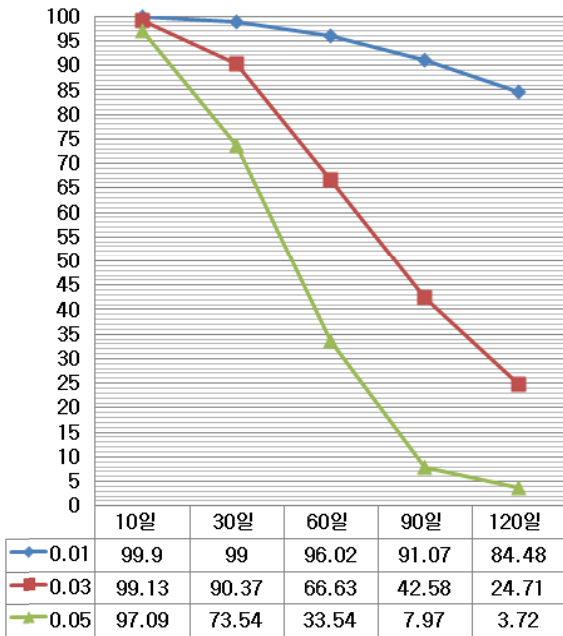


Fig. 5. Operating rate of destroy rate

결과는 120일을 기준으로 한 항공기 운용률이 84.48%에서 24.71%, 3.72%로 59.77%, 80.76% 감소하였다. 피격률은 60일 부터 항공기 운용률이 급속히 감소하였으며 항공기의 운용률에 미치는 영향이 고장률, 수리율에 비해 상대적으로 가장 큰 것을 알 수 있으며 세가지 요소를 비교했을 때 항공기 운용률에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 피격률, 고장률, 수리율 순임을 알 수 있다. 이는 전투기 결정에 있어서 전투 생존력이 고장 및 수리와 같은 운용성능에 비해 상대적으로 중요하다는 결론을 도출할 수 있다.

4.1.4 피격률 증가 시 수리율 상승에 따른 분석

Fig. 6은 Base(피격률 : 0.01, 고장률 : 0.01, 수리율

: 0.1)을 기준으로 피격률을 3배 증가(0.01→0.03)했을 때 이를 상쇄할 수 있는 수리율의 변동에 대해서 살펴봤다.

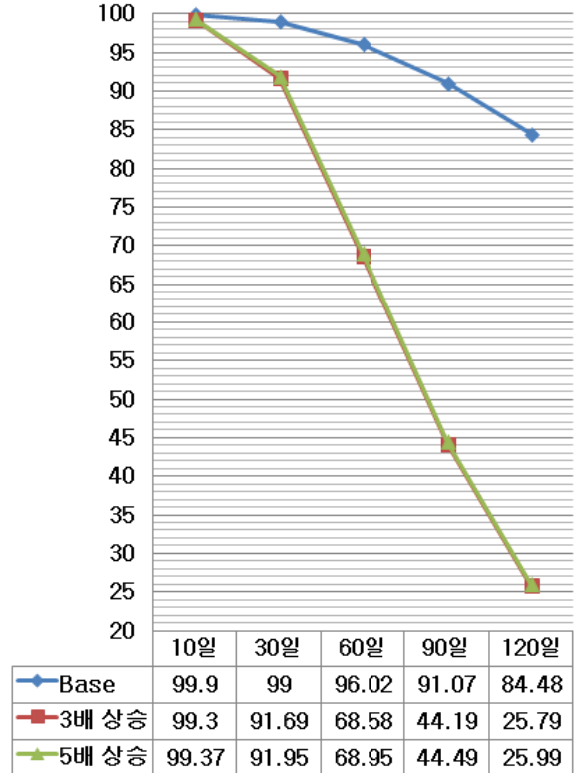


Fig. 6. Comparison between service rate and operating rate on destroy rate's increase

결과는 120일을 기준으로 한 항공기 운용률이 84.48%에서 25.79%, 25.99%로 58.69%, 58.89% 감소된 상태로 유지되었고 일정시점(60일)이후부터 항공기 피격률의 누적으로 인해 수리율의 상승으로 운용률 상쇄를 할 수 없음을 알 수 있다.

4.1.5 고장률 증가 시 수리율 상승에 따른 분석

Fig. 7은 Base(피격률 : 0.01, 고장률 : 0.01, 수리율 : 0.1)을 기준으로 고장률을 3배 증가(0.01→0.03)시 이를 상쇄할 수 있는 수리율의 변동에 대해서 살펴봤다.

결과는 120일을 기준으로 한 항공기 운용률이 84.48%에서 78.8%, 82.02%로 5.6%, 2.4% 감소된 상태로 유지됨을 알 수 있고, 수리율의 상승으로 운용률을 일정부분 상쇄할 수 있음을 할 수 있다.

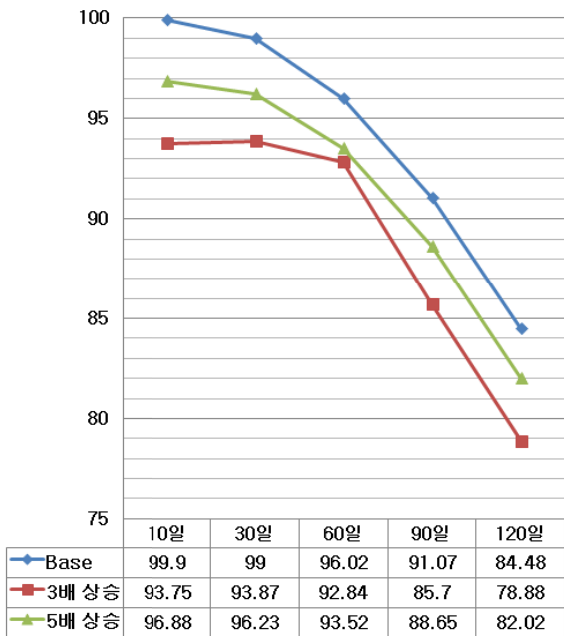


Fig. 7. Comparison between service rate and operating rate on failure rate's increase

4.2 일정 운용률 확보를 위한 변수간 관계 분석

항공기 적정소요 판단에 있어 다양하게 변화하는 전장의 상황속에서 세가지 요소(피격률, 고장률, 수리율)의 관계를 파악함으로써 지휘관이 원하는 시점에 운용률을 확보하기 위한 정량적인 수치를 제공할 수 있다. 전시상황에서 30일 경과를 기준으로 항공기 운용률을 80%이상 유지하기 위해 Fig. 8에서는 수리율을 0.1로 고정하고 피격률이 증가함에 따라 고장률을 얼마나 감소해야 하는지 알 수 있다.

Fig. 8은 피격률이 0.002 증가시 운용률을 80% 확보하기 위한 고장률의 수치를 알아보았다. 일정한 운용률을 유지하는 피격률과 고장률의 조합은 선형적인 반비례 관계가 성립함을 알 수 있다.

Fig. 9는 전시상황에서 30일 경과 시 항공기 운용률을 80%이상 유지하기 위해 고장률을 0.03으로 고정하고 피격률이 0.002 증가 시 수리율을 얼마나 증가해야 하는지 알 수 있다.

Fig. 9는 피격률과 수리율은 일정 운용률을 확보하기 위한 수리율의 수치를 알아보았다. 일정한 운용률을 유지하는 피격률과 수리율의 조합은 지수함수적인 관계가 성립함을 알 수 있다. 특히 피격률이 0.045(4.5%)일 경우에는 수리율을 아무리 높여도 운용률 80%를

확보할 수 없었다. 이것은 피격률이 일정수준을 넘게 되면 수리율로써 운용률에 대한 상쇄를 할 수 없다는 것을 알 수 있다.

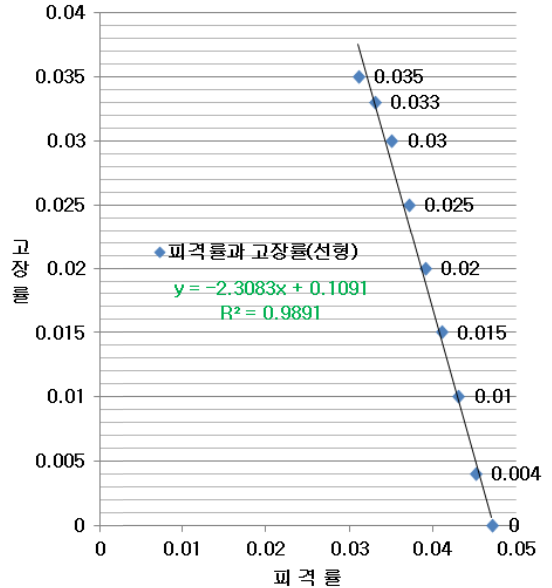


Fig. 8. Comparison between destroy rate and failure rate

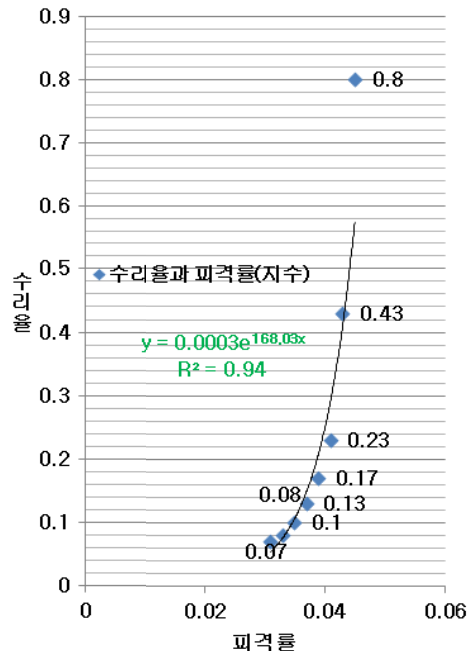


Fig. 9. Comparison between destroy rate and service rate

Fig. 10은 전시상황에서 30일 경과시 항공기 운용률을 80%이상 유지하기 위해 피격률을 0.03으로 고정하고 고장률을 0.002 증가함에 따라 수리율을 얼마나 증가해야 하는지 알 수 있다.

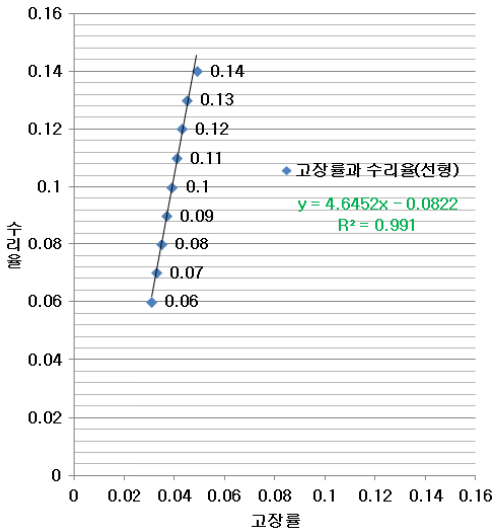


Fig. 10. Comparison between failure rate and service rate

Fig. 10은 고장률과 수리율은 일정 운용률을 확보하기 위한 수리율의 수치를 알아보았다. 일정한 운용률을 유지하는 고장률과 수리율의 조합은 선형관계가 성립함을 알 수 있다.

위의 결과에서 세가지 요소간의 알 수 있듯이 운용률을 결정하는 가장 중요한 요소는 피격률임을 알 수 있다. 그리고 일정한 운용률을 유지하는 수리율과 피격률간의 관계는 지수적인 관계, 고장율과 피격률간의 관계는 선형적인 반비례 관계가 성립함을 고려했을 때 상대적으로 고장률이 수리율에 비하여 상대적으로 중요함을 알 수 있다.

#### 4.3 상대적인 항공기의 비교를 통한 운용률 분석

Fig. 11은 A Type의 항공기는 생존성이 뛰어난 항공기로서 임무 투입이 많아 잦은 고장이 발생하는 항공기(피격률이 0.01, 고장률이 0.05, 수리율이 0.1)이며 B Type의 항공기는 생존성이 뛰어나지 않아 저위협군의 임무에 투입이 되며 고장이 발생했을 경우에는 수리율이 뛰어난 항공기(피격률이 0.05, 고장률이 0.01, 수리율이 0.5)를 비교하였다.

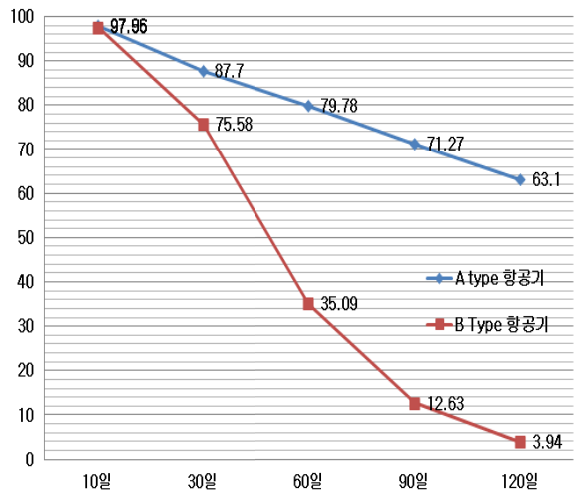


Fig. 11. Comparison between failure rate and service rate

Fig. 11에서 알 수 있는 것은 두 Type의 항공기는 30일 이전에는 운용률이 비슷하지만 30일 이후부터는 B Type의 항공기 운용률이 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 이것은 30일 이전까지는 B Type의 항공기의 경우 수리율로 인해서 운용률을 유지했지만 Fig. 9에서 수리율과 피격률이 지수적 관계로써 시간의 흐름에 따라 일정시점 이후에는 피격률이 일정수준을 넘게 되면 수리율 증가로써 운용률을 유지할 수 없다는 것을 알 수 있다. 이것은 일정시간이 경과되면 운용률에는 수리율 및 고장률에 비하여 피격률이 상대적으로 가장 큰 영향을 미치게 되는 결과를 알 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 기존 적정항공기 대수의 판단에 있어 정적인 측면이 아닌 시간에 따른 변화를 반영하는 동적인 측면을 강조하여 연구를 수행하였다. 특히 피격률, 고장률, 수리율을 동시에 고려하고 작전시간을 반영한 운용률과 각 요소간의 결과를 정량적으로 산정하였다. 따라서 본 논문은 첫째, 항공기 적정 소요를 산정함에 있어 전투효과지수만을 고려한 정적인 정보가 아니라 시간적인 요소를 고려한 동적 정보를 적용했고 둘째, 피격률, 고장률, 수리율을 동시에 고려하여 보다 현실적인 전장 상황을 묘사한 결과를 도출



했으며 셋째, 의사결정이 필요한 시점에서 항공기 운용률을 제시할 수 있는 모형을 통해 지휘관이 원하는 시간에 적합한 정보를 제공하며, 차기 도입항공기를 기존항공기와 상대적인 성능 비교를 통해 운용률을 예상할 수 있다.

기존 적정항공기 대수의 판단은 전투효과 지수와 항공기 대수에 비례한 단기적이고 정적인 방법을 활용하고 있지만 본 연구에서는 동태적 측면을 강조하여 시점별로 피격률, 고장률, 수리율을 동시에 고려했다는 점과 위 세 가지 요인 중 가장 중요한 것이 피격률임을 도출했다는 점에 의의가 있다.

F-X/KF-X 사업에서는 위에 제시한 결과를 고려하여 항공기 기종 선택 및 도입대수를 판단한다면 운용률의 향상을 위해서는 수리율, 고장률 보다는 피격률에 대한 요소가 가장 큰 영향을 미치므로 방어성능, 스텔스 기능을 고려한 생존성이 높은 항공기를 선택해야 할 것이다. 그리고 상대적으로 피격률이 높은 전쟁 초기에는 피격률이 낮거나 수리율이 높은 항공기를 투입하고 일정시간 이후에는 피격률이 낮은 항공기를 투입하는 것이 항공기 운용률을 극대화 시킬 수 있는 방법이 될 것이다. 이런 점을 고려하여 항공기 적정소요 대수를 판단한다면 양적으로 우세한 북한 항공 전력에 대응하고 주변국의 고성능 전투기 확보에 대한 대응전략 뿐만 아니라 동시에 노후 전투기 도태전력을 대체할 수 있을 것이다.

또한 향후 연구에서는 대대급 전력(20대)이 아니라 운용률을 전구급/기종별 항공기 대수로 확장하고 이산 시간 흡수 마코프체인 뿐만 아니라 연속시간 마코프 체인을 활용하여 교전중인 부대의 전투력을 예측하여 전장상황 및 전투력을 판단하는 연구가 필요하다. 또한, 현재 한국군에서 운용중인 전투기(KF-16 등)의 실제 수리율 및 고장률을 반영한다면 실무부대에 도움이 되는 현실적인 연구가 될 것으로 판단된다.

## References

- [1] Park, J. G., "A Study on the Decsion of Aircraft Demand for Air to Surface Mission," Military Operations Research Society of Korea, Vol. 22, No. 2, pp.141-152, 1996.
- [2] Song, C. H., "A Study on the Optimal Allocation of Aircrafts to Closed Air Support by Goal Programming," National Defense University, 2004.
- [3] Ghose, D., "Search Using Multiple UAVs with Flight Time Constraints," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, Vol. 40, No. 2, pp. 491-510. 2004.
- [4] Im, J. D. and Yoon, B. K., "An Analysis on the Effectiveness of Unmanned Aerial Vehicle Using D-MAP," Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol. 38, No. 1, pp. 47-56, 2012.
- [5] Mun, H. G. and You, S. G., "Study on Methodology for Power Index of Future Weapon System," Korea Research Institute for Strategy, Vol. 23, pp. 10-12, 2003.
- [6] Kim, Yong. and Yoon, B. K., "An Analysis on the Optimal Level of the Maintenance Float Using Absorbing Markov Chain," Military Operations Research Society of Korea, Vol. 34, No. 2, pp. 163-174, 2008.
- [7] Shaler, S. Jr. and Richard, W., "A Survey of Markov Decision Models for Control of Networks of Queues," Queueing systems, Vol. 13, No. 1-3, pp. 291-314, 1993.
- [8] Yoon, B. K., Markovian Arrival Process and its Application in Defense Area, Research Institute for National Security Affairs, 2010.