

장비 운용가용도 영향요인에 관한 시스템 다이내믹스적인 접근

권민석, 문성암*

국방대학교 국방관리대학원 국방관리학과

A System Dynamics Approach of the Influences on the Operational Availability

Min-Seok Kwon, Seong-Am Moon*

The Department of Defense Management, Korea National Defense University

요약 현대의 각 사회분야에서는 고가의 첨단장비들을 활용하고 있다. 특히 국방분야에서는 첨단 무기체계들을 배치하여 활용하고 있고 적정 수준 이상의 운용가용도(Ao, Operational availability)를 달성하기 위해 노력한다. 하지만 인력 및 예산, 시간 등의 제한된 자원 여건으로 목표 운용가용도를 충족하는 것은 어려운 과제이다. 따라서 군 관리자들은 운용가용도에 영향을 미치는 요인들을 식별하고 영향도를 고려해 의사결정을 내릴 필요성이 있다. 본 연구에서는 운용가용도에 영향을 미치는 요인들을 식별하였으며 이를 반영해 시스템 다이내믹스(System dynamics) 관점으로 군의 정비체계를 모델링하였다. 각 영향요인들을 동시에 변화시키며 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 운용가용도를 종속변수로 가지는 다중선형회귀분석(Multiple linear regression analysis)을 시행하여 각 요인들의 영향도를 분석하였다. 본 연구의 결과는 다양하고 많은 장비를 운용하고 있으며 효율성이 중요해지고 있는 국방분야에서 최적의 의사결정을 내릴 수 있는 통찰력을 제공한다는 의의가 있다.

Abstract Each modern social field uses expensive high-tech equipment. In particular, innovative weapons systems are deployed and utilized in the defense sector, and efforts are made to achieve an appropriate level of operational availability. On the other hand, meeting the target operational availability is a difficult task because of limited resource conditions, such as human resources, budget, and time. Therefore, military managers must identify factors that affect operational availability and make decisions considering their impact. In this study, the factors affecting operational availability were identified, and the military maintenance system was modeled from the perspective of system dynamics. Simulations were conducted by simultaneously changing each influencing factor. Based on the simulation results, a multiple linear regression analysis with operational availability as a dependent variable was performed to analyze the influence of each factor. These results are meaningful because they provide insight into making optimal decisions in the defense sector, where various equipment are being operated, and the efficiency is becoming important.

Keywords : Operational Availability, Maintenance, Inventory Management, Simulation, System Dynamics, Multiple Linear Regression Analysis, Metamodel

*Corresponding Author : Seong-Am Moon(Korea National Defense Univ.)
email: mseongam@hotmail.com

Received December 7, 2022

Revised January 2, 2023

Accepted February 3, 2023

Published February 28, 2023

1. 서론

현대에는 과학기술이 발전함에 따라 항공, 철도, 선박 등 사회 전반에 첨단장비들이 배치되고 있다. 이러한 장비들을 운용하는 조직들은 이윤이나 조직 운영의 목표를 달성하기 위해 적정 수준 이상의 장비 운용가용도(Ao, Operational availability)를 유지하기 위해 노력한다 [1,2].

특히 군은 첨단 무기체계들을 지속적으로 도입하고 있다. 이러한 고가의 무기체계들은 구매 뿐 아니라 운영을 하는 유지비용도 많이 요구한다. 그리고 고도의 기술을 바탕으로 제작되었으며 다수의 구성품들로 이루어져 정비에도 많은 노력과 시간이 소요된다.

과거 창군 이후 성장기에는 조직을 확장시켜야 했기에 예산 지원 등을 통해 장비운용에 요구되는 부속을 다량 구매하거나 정비인력을 확충할 수 있었다. 하지만 현재는 군의 성숙기에 접어들었으며 효율성을 중요시하게 되었다 [2]. 특히 국방개혁 2.0과 국방혁신 4.0을 시행하며 인력이 감축되고 원가절감을 도모하고 있다. 이에 따라 인력 및 예산, 시간 등의 제약이 발생하게 되었다. 이러한 불충분한 자원 하에 군은 목표 운용가용도를 충족해야 하므로 많은 애로점이 존재한다 [3]. 따라서 군은 작전 준비태세를 갖추기 위해 최적의 의사결정을 내려야 하며 이러한 제약조건 하 관리 집중을 위한 가중치를 부여해야 한다.

이를 위해서는 운용가용도에 영향을 주는 요인들의 영향도를 분석해야 한다. 이것이 본 연구의 목적이며 다음과 같이 구성된다. 1장의 선행연구들을 통해 식별된 영향요인들을 반영해 2장에서는 정비관리와 재고관리로 구성되는 장비운영 공급사슬을 모델링하였다. 3장에서는 실험결과를 논하며 4장은 이를 바탕으로 연구의 의의와 향후 발전방향을 제시한다.

1.1 선행연구 소개

1.1.1 장비 운용가용도

군은 국가 방위를 목적으로 적정수준 이상의 운용가용도를 유지하기 위해 노력하고 있으며 장비운영 공급사슬을 관리하고 있다 [4]. 이 공급사슬은 정비에 필요한 수리 부속을 확보, 저장하는 물류창고와 정비소의 기능이 결합되어 있으며 이와 연관된 연구들이 많았다. 주로 재고관리 혹은 정비관리 기능에 집중한 연구들로 구분될 수 있다.

먼저 재고관리에 집중한 연구로 김진호 등(2014)과 이상진 등(2010)은 메타모델과 정수계획모형을 응용해 엔진 모듈의 재고수준이 항공기의 전·평시 운용가용도에 미치는 영향을 조사하여 최적 재고수준을 제안하였다 [5,6]. 유사하게 군 헬기의 목표 운용가용도 달성을 위해 정비대충장비의 적정 재고수준을 결정하는 연구도 있었다 [7].

정비관리에 집중한 연구로는 김성근과 이상진(2017)의 연구가 있다 [8]. 이들은 정비시설의 정비능력(maintenance capacity)에 따라 운용가용도가 달라짐을 시뮬레이션과 다중회귀분석을 통해 증명했다. 여기서 정비능력은 일정 기간 내 정비 서비스를 완수하는 척도로 정의했다. 이외에도 군은 정기적으로 계획정비를 수행하는데 고장이 발생하지 않아도 실시하므로 예방정비(PM, Preventive maintenance)라고도 한다. 박정서 등(2022)과 최진우 등(2021)은 예방정비의 주기를 조정함으로써 운용가용도가 영향을 받을 수 있음을 연구했다 [9,10].

재고관리와 정비관리를 동시에 다룬 연구도 있었다. 박세훈과 문성암(2011)은 정비능력과 부속품의 수량을 제약조건으로 해 그 수준을 변화시키며 운용가용도를 동적으로 관찰했다 [4]. 그리고 고장률에 의한 정비소요발생을 시뮬레이션에 반영하였으며 다양한 제약조건에 대한 경제적 한계점을 제안하였다.

선행연구들을 종합하면, 운용가용도가 다양한 요인들의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 크게 5가지의 요인들을 추출할 수 있는데 재고수준, 리드타임, 정비능력, 예방정비주기, 고장률이 그것이다.

그동안 운용가용도의 영향요인에 관한 연구들이 많았으나 각 요인들의 영향도를 동시에 분석한 연구는 적었다. 특히 장비운영 공급사슬은 구성하는 변수들이 많아 일반적인 공급사슬에 비해 복잡하다. 이들 변수는 상호작용을 하며 인과성을 지니고 있다. 따라서 각 영향도를 파악하기 위해서는 인과관계를 잘 묘사할 수 있는 시뮬레이션 방법론을 적용할 필요가 있다.

1.1.2 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 동태적 모델링 기법이다 [11]. 상호작용하는 변수들로 이뤄진 복잡계 작동을 이해하고 시뮬레이션하는데 널리 활용된다 [12]. 특히 인과성과 피드백 관계를 중심으로 시간에 따른 복잡한 시스템 설명이 용이하다 [13].

군에서의 정비라는 시스템에는 수많은 영향요인이 연

관되어 있고 이들의 상호 연관성을 고려해 시스템 다이내믹스 관점으로 이해하려는 노력들이 있었다. 그 중 Fang and Zhaodong(2015)은 항공장비의 수명주기간 부품 고장률 및 예방 정비빈도와 정비비용 관계를 분석하였다[13]. 정비와 비용과의 관계성 외에도 정비 능력과 업무의 흐름을 분석한 연구들도 있었다.

문성암 등(2004)은 작업강도와 피로도를 고려해 육군 근접정비능력의 동태적 변화를 시스템 다이내믹스를 이용해 시뮬레이션하였다[14]. 문성암과 조우진(2014)은 해군 함정을 대상으로 운용가용도 충족을 위해 정비부하에 따른 캐퍼시티(capacity) 관리방식을 변화시켰으며 그 성과를 시스템 다이내믹스를 활용해 분석하였다[15]. 이러한 선행연구 외에도 시스템 다이내믹스는 구성 변수가 많아지더라도 모델링하고 시각화하기 쉬우므로 본 연구에 적합하다.

2. 연구방법

본 연구의 목적은 운용가용도에 영향을 미치는 요인들의 영향도를 동시에 분석하는 것이다. 군의 장비운영 공급사슬에서 인과관계와 피드백을 주고받는 변수가 많은 점을 고려해 본 연구는 시스템 다이내믹스를 활용해 모델을 구성한다. 그리고 모델의 시뮬레이션 결과를 토대로 영향요인을 분석한다.

2.1 기본가정과 입력자료

시뮬레이션은 현실을 가상으로 단순화해 실험하는 연구방법이다. 따라서 기본가정을 설정하는 것이 중요하며 입력자료를 바탕으로 구성하였다.

시뮬레이션에 활용한 입력자료는 군 내부시스템인 군 수통합정보체계에서 확보하였다. 2016년 1월부터 2020년 1월 중의 각 함대별 POO급 함정들의 정비실적을 확보했다. 정비기간이 누락된 192건이 제외된 총 3,562건이며 예방정비와 고장정비(CM, Corrective maintenance)로 나뉜다. 운용가용도에 직결되는 주 추진 가스터빈을 대상으로 시행된 정비건이다.

이를 바탕으로 연구의 가정은 다음의 5가지로 구성된다. 첫째, 시간단위는 주(week)이며 전체 시뮬레이션 기간은 100주이다.

둘째, 선령(ship's age)을 고려하지 않는다. 일반적으로 총수명주기 동안 장비의 고장량은 욱조모형을 띤다. 장비 도입 초기는 설계나 제조결함으로 고장이 많고 안정화기를 거친 후 노후화기에는 마모와 열화 등으로 고장이 다시 많아짐을 의미하는 것이다. 하지만 본 연구의 목적은 각 변수들의 영향도 분석이다. 따라서 시간이 경과해도 고장률이 일정하게 지속됨을 가정한다.

셋째, 본 연구는 POO급이라는 1개 함형만을 다룬다. 그리고 해당 함정의 주 추진 가스터빈만을 정비하며 정비에 소요되는 수리부속은 1개임을 가정한다. 즉, 복수 부품 간 관련성은 포함하지 않는다[16].

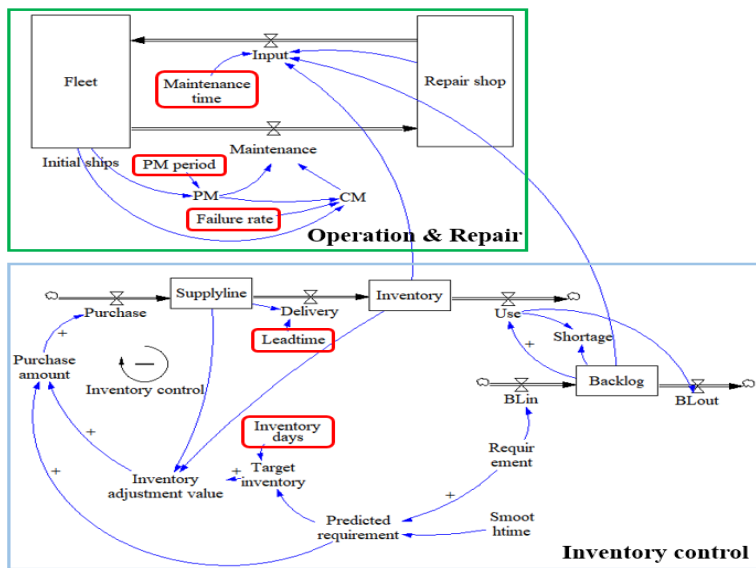


Fig. 1. Model structure (Reconfigured [16])

넷째, 운용하는 함정 수는 100척이며 시뮬레이션 기간 중 추가 도입이나 퇴역함정은 없다.

2.2 시뮬레이션 모델 구축

본 연구의 모델 구성에는 시스템 다이내믹스 패키지인 Vensim(versoin 5.6)을 사용했다. 연구모델은 앞의 Fig. 1과 같이 작전 및 정비(Operation & repair)와 재고관리(Inventory management)의 2개 섹터(sector)로 구성된다[16]. 각 섹터에는 2장에서 확인한 영향변수들이 반영된다. 이를 아래의 Table 1에서 잠재 영향변수로 표현했고 의미를 정리하였다.

Table 1에서 Model variable은 모델에서 표현되는 변수명을 나타낸다. 먼저 Operation & repair 섹터에서는 고장률(Failure rate), 정비시간(Maintenance time), 예방정비주기(PM period)가 반영된다. 여기서 정비시간은 정비능력을 나타내는데 정비능력이 부족하면 소요되는 시간은 장기화된다. Inventory management 섹터에서는 재고수준(Inventory days)과 리드타임(Leadtime)이 반영된다.

시뮬레이션에서 활용된 주요 변수의 입력식은 다음 장의 Table 2와 같다. Table 2에서 range는 입력값의 범주를 의미하는데 관측값 혹은 군 규정을 기준으로 설정한 것이다.

넓은 범위의 합을 확보하기 위해 0부터 각 관측값이나 규정값의 일정 배수 범주로 입력하였다.

시뮬레이션 구현원리는 다음과 같다. Operation & repair 섹터에서 작전지역에 해당하는 Fleet는 함정이 운용되는 함대를 의미한다. 임무 수행중인 함정은 예방정비 주기(PM period)가 도래하면 정비시설(Repair shop)에 입고된다[9]. 해군 정비규정에 따르면 20주간 운용 후 6주간 예방정비를 수행하므로 총 26주(182일)

의 간격을 가진다[9,17]. 모델은 1~280일의 범위를 가지는데 규정된 운용기간 값의 2배로 이해할 수 있다. 즉, 1~280일 사이서 무작위 값을 가진다.

고장률은 고장정비량을 결정한다. 예방정비를 위해 정비시설로 입고되는 함정에 고장이 발생하였을 때, 추가로 정비시설로 입고되지 않으므로 예방정비를 받지 않는 잔여 함정 수에 고장률을 곱해 고장정비량을 도출할 수 있다. 확보된 데이터에서 1,469일간 고장정비가 192건 발생하였으므로 1일당 약 0.005회 고장이 발생하는 것으로 이해할 수 있다. 모델은 0~0.01의 범위를 가지는데 관측값의 2배로 이해할 수 있다.

정비소요는 예방정비량(PM)과 고장정비량(CM)의 합으로 구해진다. 정비시설에서 일정 시간이 경과한 후 Fleet으로 복귀한다. 확보한 데이터에서 예방 및 고장정비시간은 최소 1일에서 363일이 소요되었다. 예방정비기간은 규정상 6주(42일)로 지정되어 있으나 실제 관측값은 이를 준수하지 않으며 300일 이상 소요되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 고장정비와 예방정비기간을 별도로 구분하지 않는다. 모델은 1~726일의 범위를 가지는데 관측값의 2배로 이해할 수 있다.

본 모델은 복귀하는 함정의 수를 Input으로 표현하였다. 하지만 정비소요시간이 경과하더라도 수리부속 재고 유무에 따라 정비가능여부가 결정된다. 즉, Operation & repair 섹터와 연계된 Inventory management 섹터의 영향을 받는다.

Inventory management 섹터에서는 수리부속 재고를 관리한다. 정비소요는 모델 내 Requirement로 연결된다. Inventory management 섹터에서 구매량을 결정할 때 소요 예측(Predicted requirement)은 실무에서 통용되는 이동평균법을 활용한다. 예측기간은 30일이며 이동평균법과 유사한 SMOOTH 함수를 이용한다[20].

Table 1. Potential influencing factors reflected in each module

Sector	Potential Influencing Factor	Model variable	Contents
Operation & repair	Failure rate	Failure rate	• Determine corrective maintenance considering residual ships that are not subject to preventive maintenance.
	Maintenance capability	Maintenance time	• Determine of maintenance capability. • If the maintenance capability is low, the maintenance time per ship will be long
	Preventive maintenance period	PM period	• Determine preventive maintenance cycle.
Inventory control	Days of inventory	Inventory days	• Setting for target inventory
	Leadtime	Leadtime	• Determine how long it takes to receive repair spare parts.

Table 2. Equation for main variables

Sector	Variable	Range	Equation	Reference
Operation & repair	Failure rate	0~0.01	Delay fixed [RANDOM UNIFORM(0.0.1,seed),700, RANDOM UNIFORM(0.0.1,seed)]	Military internal source, Navy(2018)[17]
	Maintenance time	1~726	Delay fixed [RANDOM UNIFORM(1.726,seed),700, RANDOM UNIFORM(1.726,seed)]	
	PM period	1~280	Delay fixed [RANDOM UNIFORM(1.280,seed),700, RANDOM UNIFORM(1.280,seed)]	
	PM		Battle field(fleet)/PM period	
	CM		(Fleet - PM)*Failure rate	
	Maintenance		PM + CM	
	Input		(Repair shop/Maintenance time)*MIN(1, XIDZ(Inventory, Backlog, 1))	
Inventory control	Inventory days	1~230	Delay fixed [RANDOM UNIFORM(1.230,seed),700, RANDOM UNIFORM(1.230,seed)]	Moon et al, (2021)[18]
	Leadtime	1~600	Delay fixed [RANDOM UNIFORM(1.600,seed),700, RANDOM UNIFORM(1.600,seed)]	Ministry of defense(2019)[19]
	Requirement		Maintenance	
	Predicted requirement		SMOOTH(Requirement, Smoothtime)	
	Target inventory		Predicted requirement*Inventory days	
	Inventory adjustment value		Target inventory-Inventory-Supplyline	
	Purchase amount		MAX(0,Inventory adjustment value+Predicted requirement)	
	Use		MIN(Backlog, Input)	

* Delay fixed (x,y,z) : returns the value x delayed by the delay time y. z is the initial value.

** RANDOM UNIFORM(x,y,seed number) : returns the random number between the x,y by seed number.

*** XIDZ(x,y,z) : $\frac{x}{y}$ or z (if y=0)

재고조정량(Inventory adjustment value) 결정을 위해 목표재고량(Target Inventory)을 설정하였다. 목표재고량은 소요 예측량과 재고일수(Inventory days)의 곱으로 계산된다. 방침상 해군의 재고일수는 정비창 30일, 보급지원시설 55일, 보급창은 30일과 실제 조달소요기간으로 구성된다. 조달소요기간을 제외하고 총 115일이다. 모델은 1~230일의 범위를 가지는데 규정된 값의 2배로 이해할 수 있다.

재고조정량은 목표재고량과 배송중이거나 현재 보유 중인 재고의 차이이다. 구매량은 재고조정량과 예측수요의 합으로 계산된다. 구매된 부속품은 리드타임(Leadtime)에 걸쳐 배송된다. 국방부 군수지원성과관리 훈령상 배송에 소요되는 목표 대기기간은 최대 300일이다. 모델은 1~600일의 범위를 가지는데 규정된 값의 2배로 이해할 수 있다.

보유중인 재고량과 미납소요량(Backlog)을 고려해 수리부속 불출량(Use)이 결정된다. 그리고 이에 따라 정비를 마치고 Fleet으로 복귀하는 함정의 수가 결정된다. 최종적인 성과지표는 운용가용도이며 Fleet 변수에 잔류하

는 함정의 수로 판단할 수 있다.

2.3 타당성 검토

시뮬레이션 모델은 현실과 유사해야 한다. 현실의 다양한 상황에 대해서 적용치 못하면 적합한 모델이라 할 수 없다[9].

본 연구는 다음의 3가지의 타당성 검토를 시행하였다. 첫째, 모델이 해군의 예방정비정책을 잘 반영하는지 검증하기 위해 시뮬레이션 기간 동안 정비횟수를 비교했다. 해군 정비규정을 반영해 이를 100주 기간에 대입시 총 388.46회의 정비를 수행한다[17]. 이는 시뮬레이션과 동일하게 0주부터 정비함을 가정한 것이다.

다음 Fig. 2는 시뮬레이션 결과 누적 예방정비 횟수를 의미한다. 총 389.94회의 정비를 수행하여 실제와 약 1.48회의 차이를 나타냈다. 만일 모델이 해군의 예방정비정책을 잘 반영하지 않았다면 유의한 차이를 도출했을 것이다. 따라서 본 연구의 모델은 해군 정비정책을 잘 반영하고 있다.

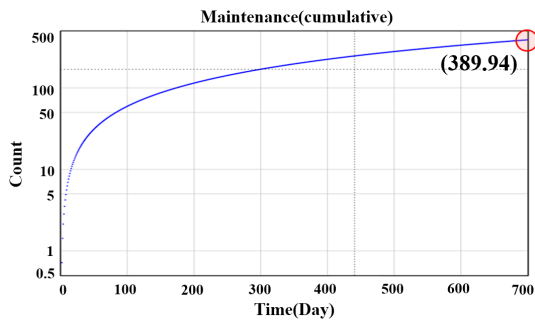


Fig. 2. Number of preventive maintenance

둘째, 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 수행하였다. 민감도 분석은 모수의 가정을 변경하여 종속변수 변화가 타당한가를 검증하는 것이다[21].

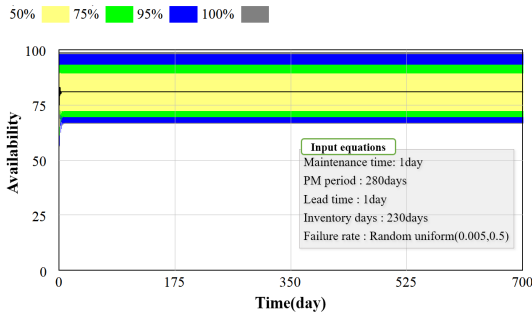


Fig. 3. Sensitivity analysis

본 모델에 대한 고장률 변화의 민감도 분석 결과는 위 Fig. 3과 같다. 고장률을 0.005에서 0.5사이 범위로 균등분포를 이루게 하여 200회 시물레이션하였다. 그래프에서 황색은 50%를, 녹색은 75%를, 청색은 95%를, 회색은 100%의 신뢰구간을 의미한다. 고장률의 불확실성에 따른 편차가 발생하긴 하지만 운용가능도는 발산하거나 음수가 되지 않았다.

Table 3. Operational availability by simulation

Simulation	Maintenance time(days)	Failure rate(ships/day)	PM period(days)	Inventory days(days)	Leadtime(days)	Average Ao(%)
s1	474.93	0.0062	141.9	170.73	280.47	21.63
s2	715.64	0.009	102.5	66.47	527.98	12.78
s3	6.615	0.0074	126.53	74.23	339.05	29.03
⋮						
s39,999	9.809	0.000257	65.91	188.12	226.92	78.86
s40,000	640.28	0.001	270.33	140.83	149.68	38.28

셋째, 극한조건 평가(Extreme condition test)를 실시하였다. 극한조건 평가는 모델에 충격이 가해지면 이에 반응한 후 시스템적 재균형을 이루는지 판단하는 것이다[22].

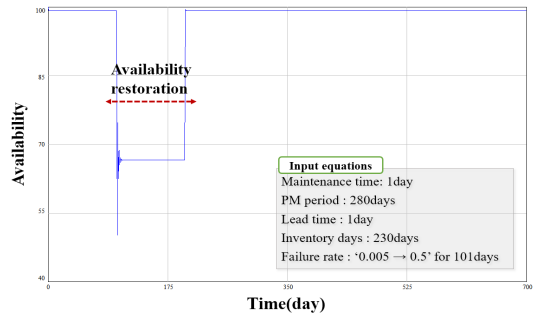


Fig. 4. Extreme condition test

본 연구는 극한조건 평가를 위해서 100일부터 200일까지 고장률을 0.005에서 0.5로 급격히 증가하는 상황을 부여하였다. 그 결과는 위 Fig. 4와 같다. 101일간 고장률 증가에 따라 운용가능도가 낮아졌으나 200일 이후에는 정상적으로 회복되었다.

이를 통해 Sterman(2000)이 제시하는 네트워크 구성 타당성을 확인할 수 있었다. 따라서 본 모델은 연구 목적에 부합하다고 할 수 있다[12,20].

3. 실험결과

2장에서 확인한 연구설정을 바탕으로 난수 seed 번호를 달리해 총 40,000회의 시물레이션을 수행했다. 즉, 잠재 영향변수들의 다양하고 충분한 조합이 생성된다. 각 조합에 따른 운용가능도 성과 평균은 아래 Table 3과 같다. 총 40,000개의 조합 중 일부를 나타내는데 seed

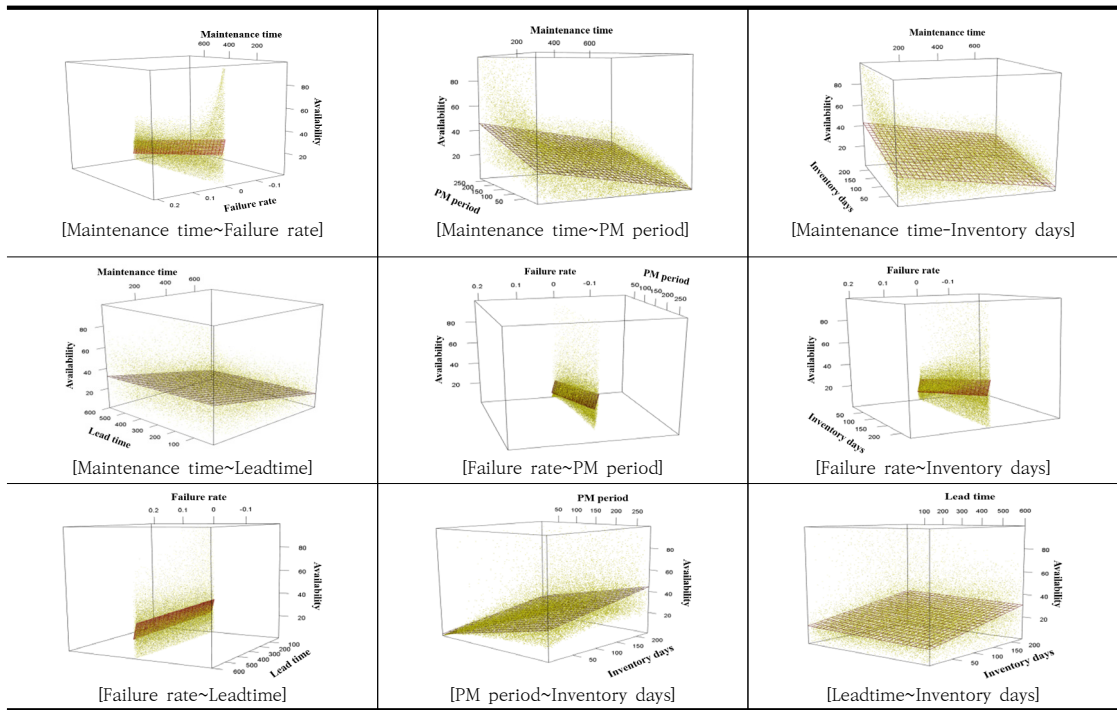


Fig. 5. Scatter plot for Ao mean by condition

번호에 따라 각 잠재 영향변수들의 값이 달라짐과 운용 가용도가 결정됨을 알 수 있다.

Table 3의 결과를 그래프로 나타내면 위의 Fig. 5와 같다. 이는 각 잠재 영향변수들을 x, y 축으로 가질 때 운용가용도 평균을 z 축으로 가지는 산점도를 의미한다. 여기서 격자는 추세선을 뜻한다. 각 영향변수들의 값에 따라 평균 운용가용도가 변화함을 확인할 수 있다. 예를 들어 중앙의 [Failure rate~PM period] 그래프는 고장률과 예방정비주기의 변화에 따른 운용가용도를 나타낸다. 고장률이 낮아지고, 예방정비주기가 길어질수록 운용가용도가 향상됨을 판단할 수 있다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 평균 운용가용도를 종속 변수, 각 잠재 영향변수를 독립변수로 해 다중회귀분석을 실시하였다.

하나의 종속변수와 여러개의 독립변수 사이의 관계와 영향도를 규명하는 것이 목적이므로 적용이 적합하다고 할 수 있다[23,24]. 그 결과는 다음 Table 4와 같다.

분석 결과 다중선형 회귀식은 R이 0.822, R^2 과 조정된 R^2 은 0.676로서 충분한 설명력을 보였다. Durbin-Watson 은 1.994로서 2에 가까우며 0이나 4와 가깝지 않아 잔차 간 상관관계가 없어 모형이 적합하다고 할 수 있다[8].

Table 4. Multiple regression analysis results for simulation

Category	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.
	B	Std.error	β		
(constant)	20.33	.156	.	130.519	.000
maintenance time	-.029	.000	-.446	-156.453	.000
Inventory days	.080	.000	.070	-24.576	.000
Leadtime	-.006	.001	.382	134.242	.000
PM period	.086	.000	.507	178.046	.000
Failure rate	-1,247.5	13.502	-.263	-92.392	.000

$R=0.822, R^2=0.676, Adjusted R^2=0.676$
 Durbin-Watson : 1.997
 $F=16,660.8, p=.000$

또한 각 독립변수는 모두 t값이 ± 2.58 이상이며 p값이 .000이므로 유의미하다고 해석된다. 공차한계값은 0.1보다 크고 분산팽창지수가 10보다 작아 다중공선성은 식별되지 않았다. 이 회귀모형을 메타모델 형식으로 나타내면 Eq. (1)과 같다.

$$Y = 20.33 - 0.029x_1 + 0.08x_2 - 0.06x_3 + 0.86x_4 - 1,247.5x_5$$

(1)

여기서 Y 는 엔진의 평균 운용가용도이며, x_1 은 정비시간, x_2 는 재고일수, x_3 는 리드타임, x_4 는 예방정비주기, x_5 는 고장률을 의미한다. 단위를 일치시킨 표준화 회귀계수를 기준으로 운용가용도에 영향을 주는 변수를 순서대로 나열하면 예방정비주기, 정비시간, 리드타임, 고장률, 재고일수가 된다. 이를 통해 현 설정과 조건에서 운용가용도를 결정하는데 각 변수의 상대적인 영향력을 정량적으로 비교할 수 있다.

이러한 회귀분석을 이용한 설명은 제약된 자원들의 집중과 균형에 관한 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 또한 메타모델을 활용한다면 운용가용도의 예측 뿐 아니라 정비와 재고관리의 효율성을 제고할 수 있을 것이다.

4. 결론

최근 물가상승이나 인력구조 개편 등으로 자원의 제약이 심화되고 있다. 군은 국방을 목적으로 존재하며 목적달성을 위해 적정 장비 운용가용도를 유지해야 한다. 따라서 자원의 배분과 집중은 매우 중요한 문제이다.

본 연구는 시스템 다이내믹스의 관점으로 군의 장비운영 공급사슬을 구축했으며 공급사슬을 구성하는 요소들 간 인과관계를 묘사하였다. 시뮬레이션을 통해 각 요소들을 변화시키며 운용가용도의 변화를 동태적으로 관찰하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 다중선형회귀분석을 수행하였으며 각 영향요인들의 운용가용도에 미치는 영향도를 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 군에게 제약된 자원 여건의 균형을 맞출 수 있는 관점을 제공할 수 있다. 즉, 제한된 자원의 배분방법과 가중치를 어디에 두어야 하는지에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 또한 운용가용도에 대한 메타모델을 통해 변수들의 영향력을 고려해 정비 및 재고관리 프로세스를 효과적으로 관리할 수 있다.

하지만 이러한 의의에도 본 연구는 다음과 같은 한계를 지니며 이를 바탕으로 향후 연구방향을 제안할 수 있다. 첫째, 해군은 다양한 함형을 보유하고 있으나 단일 함형을 대상으로 연구하였다. 추후 연구는 보다 확대된 함형을 선정하고 모델링한다면 연구결과의 의미는 더욱 클 것이다. 둘째, 장비는 다수의 수리부속이 운용되고 있

기 때문에 한 품목만으로 해당 장비의 운용가용도를 판단하기엔 제약이 있다. 본 연구는 함정의 주 추진 가스터빈을 대상으로 하였으나 향후 연구는 장비를 구성하는 수리부속의 범위를 확대하고 장비 운용가용도 간의 관계성을 분석한다면 더욱 심화된 연구가 될 것이다. 셋째, 본 연구는 함대 간 수평보급(lateral transshipment)을 고려하지 않았다. 군은 재고가 부족할 시 인근 함대(부대)로부터 재고를 수령하는 수평보급을 종종 시행하지만 본 연구는 1개 함대만을 대상으로 수행되었다. 추후 모델에서 수평보급을 고려한다면 보다 현실성 있는 연구가 될 것이다.

References

- [1] B. S. Blanchard, *Logistics Engineering and Management*, Pearson Education, 1992, pp.1-576.
- [2] S. H. Park, *Inventory Management Model Considering Interactions between Equipment and Repair Parts*, Doctor's thesis, Korea National Defense University, Seoul, Korea, 2011, pp.1-126, 2011.
- [3] W. M. Son, B. K. Yoon, "Optimal Level of Maintenance Float with Flexible Control Policies Depending on Operation Availability", *Korean Journal of Logistics*, Vol.16, No.2, pp.105-120, Dec. 2008. DOI: <https://doi.org/10.15735/kjls.2008.16.2.006>
- [4] S. H. Park, S. M. Moon, "An Operational Availability Analysis in Supply Chain Using Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.12, No.1, pp.115-130, Apr. 2011.
- [5] J. H. Kim, S. J. Lee, S. T. Jeong, "The Impact of Aircraft Spare Engine and Module Inventory Level on Wartime Operational Availability", *Korean Management Science Review*, Vol.31, No.2, pp.33-48, Jul. 2014. DOI: <https://doi.org/10.7737/KMSR.2014.31.2.033>
- [6] S. J. Lee, J. K. Bai, M. G. Kim, "The Impact of Aircraft Spare Engine & Module's Inventory Level on Operational Availability", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol.38, No.3, pp.333-339, Sep. 2010.
- [7] S. J. Lee, S. W. Kim, "The Optimal Inventory Level of the Maintenance Float to Achieve a Target Operational Availability of Korean-Made Helicopter", *Korean Management Science Review*, Vol.24, No.2, pp.81-93, Nov. 2007.
- [8] S. K. Kim, S. J. Lee, "A Case Study on the Cost Effectiveness Analysis of Depot Maintenance Using Simulation Model and Experimental Design", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.26, No.3, pp.23-34, Sep. 2017.

DOI: <https://doi.org/10.9709/JKSS.2017.26.3.023>

[9] J. S. Park, S. A. Moon, J. W. Choi, "Planned Maintenance Queue Simulation based on Failure Probability: Focused on the Naval Battleship", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.48, No.1, pp.105-116, Feb. 2022.

[10] J. W. Choi, S. A. Moon, W. Y. Cho, "A Study on the Probabilty-Based Planed Maintenance Efectivenes of Naval Combat Ships", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.47, No.2, pp.190-198, Apr. 2021.

[11] M. S. Park, M. G. Moon, H. S. Lee, S. J. Hwang, J H. Lee, "System Dynamics Modeling of Korean Lease Contract Chonseil," *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 13, No. 6, pp. 153-164, Nov. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.6.153>

[12] J. D. Sterman, *Business Dynamics: System thinking and Modeling for complex world*, Irwin McGraw-Hill, 2000.

[13] L. Fang., H. Zhaodong, "System Dynamics Based Simulation Approach on Corrective Maintenance Cost of Aviation Equipments", *Procedia Engineering*, Vol.99, pp.150-155, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.proeng.2014.12.519>

[14] S. M. Moon, D. J. Kim, J. S. Park, "A System Dynamics Approach of Close Service Capability Considering Job Pressure and Fatigue in ROK Army," *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, Vol. 15, No. 2, pp. 155-187, Oct. 2004.

[15] S. M. Moon, W. J. Cho, "The Dynamic Maintenance Capacity Model for Operational Availability", *Korean Journal of Logistics*, Vol.22, No.4, pp.47-61, Dec. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.15735/kl.2014.22.4.004>

[16] S. M. Moon, K. H. Choi, J. W. Choi, H. J. Moon, *Inventory Management with System Dynamics*, Bookcubenetworks, 2022.

[17] ROK Navy Regulation no. 2351, *Navy Ship Maintenance Regulations*, ROK Navy headquarters, 2018.

[18] H. G. Moon, B. H. Oh, H. R. Lee, E. N. Lee, R. J. Hong, B. R. Kim, S. H. Lee, A Study on the Development of the Required Calculation Model for Repair Parts 2020, Korea Institute for Defense Analysis, 2021.

[19] ROK Ministry of Defense Regulation no. 2269, *Order for the Management of Performance by Military Logistics Supports*, ROK Ministry of Defense, 2019.

[20] J. H. Lim, S. A. Moon, "The Allocation Fairness on Army Supply Chain: Focusing on Proportional and Random Allocation hod", *Korean Journal of Logistics*, Vol.30, No.3, pp.15-28, Jun. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.15735/kl.2022.30.3.002>

[21] R. G. Sargent, "Verification and Validation of

Simulation Models", *Journal of Simulation*, Vol.7, No.1, pp.12-24, Dec. 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1057/jos.2012.20>

- [22] H. Lee, S. A. Moon, "A Study of Allocation Method on the Navy Warship Combat Power", *Korean Journal of Logistics*, Vol.25, No.2, pp.57-74, Jun. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15735/kl.2017.25.2.004>
- [23] D. S. Kim, *Regression Analysis for Social Science*, Bupmoonsa, 1995, pp.5-345.
- [24] Y. H. Oh, "High-School Baseball Pitcher's ERA(Earned Run Average) Prediction Using Multi-Variable Linear Regression Analysis Method", *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, Vol.15, No.4, pp.497-506, Aug. 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34163/jkits.2020.15.4.006>

권민석(Min-Seok Kwon)

[준회원]



- 2016년 2월 : 대한민국 해군 사관학교 국제관계학과 (학사)
- 2023년 1월 : 국방대학교 국방관리학과 (석사)

<관심분야>

공급사슬관리, 군수조달

문성암(Seong-Am Moon)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 경영대학원 경영학과 (학사)
- 1994년 2월 : 연세대학교 경영대학원 경영학과 (석사)
- 1999년 1월 : 연세대학교 경영대학원 경영학과 (박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 국방대학교 국방관리대학원 교수

<관심분야>

공급사슬관리, 시스템 다이내믹스