

시물레이션과 메타 모델을 이용한 한국군 성과기반군수 연구

원봉연 · 이상진[†]

A Study on ROK Military PBL Using Simulation and Meta Model

Bong Yeon Won · Sang Jin Lee[†]

ABSTRACT

The ROK military uses Performance Based Logistics(PBL) as one of the ways to utilize civilian resources and advanced techniques. However, the Korean PBL is mainly focused on purchasing and repairing parts, which is not contributing to the improvement of the availability of overall system. The objective of this study is to suggest the methodology to evaluate the PBL metrics using the simulation and meta model. A meta model is a regression model to analyze the effect of the PBL through simulating various scenarios with performance metrics. As a result, if the PBL is limited to the part level, the performance has little influence on the availability of overall system. In addition, analysis using the meta model shows that it cannot achieve the performance targets when the same metrics are applied to various items without considering the characteristics of the applied items. Therefore, in order to improve availability, PBL coverage should be extended to a system level that includes key components that have a large impact on availability. If multiple items are included in the PBL coverage, the metrics should be applied differently, taking into account the characteristics of each item.

Key words : Performance Based Logistics, Availability, Simulation, Meta Model

요약

한국군은 민간 자원과 선진 기법을 도입하는 방안의 하나로 PBL을 적용하고 있다. 그러나 한국군의 PBL은 수리부속 구매와 정비를 중심으로 시행하고 있어 PBL 적용 목적인 장비가동률 향상에 기여하지 못하고 있다. 본 연구는 한국군의 PBL이 장비가동률에 미치는 영향 요소를 분석하는 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위해 한국군의 PBL 상황을 시물레이션 모델로 설계하고, 시물레이션 결과를 회귀분석하여 PBL 성과가 장비가동률에 미치는 영향을 분석할 수 있는 메타 모델을 제안한다. 연구 결과 수리부속 수준에만 제한적으로 PBL을 적용하면 성과가 장비가동률에 미치는 영향력은 크지 않았다. 또한, 메타 모델을 이용해 분석해 보면 적용품목 특성을 고려하지 않고 여러 품목에 동일한 성과지표를 설정할 경우 성과목표를 달성할 수 없었다. 따라서 장비가동률을 향상시키기 위해서는 장비가동률에 영향력이 큰 핵심구성품을 포함하는 체계 수준으로 PBL 적용범위를 확대해야 하며, PBL 적용범위에 다수 품목이 포함될 경우 품목별 특성을 고려해 성과지표를 차등 적용해야 한다.

주요어 : 성과기반군수, 장비가동률, 시물레이션, 메타 모델

1. 서론

한국군은 민간 자원과 선진 기법을 국방 분야에 적극

도입하고 있다. 그 일환으로 군과 민간업체가 군수품의 수리부속 보급 및 정비 관련 장기계약을 체결하고, 군은 업체의 수행성과에 따라 대가를 차등지급하는 민·군 협력사업인 성과기반군수(Performance Based Logistics, 이하 PBL)를 2010년부터 도입하였다(국방일보, 2018). PBL 예산은 제도 도입 초기인 2011년 369억 원에서 2018년 4,031억 원으로 예산이 크게 증가하였다(Baek, 2018). 장차 PBL 적용 장비가 항공장비에서 지상장비와 해상장비로

Received: 26 December 2019, Revised: 15 March 2019,
Accepted: 25 March 2019

[†] Corresponding Author: Sang Jin Lee
E-mail: sangjlee58@hotmail.com
Korea National Defense University

확대(국방일보, 2018)됨에 따라 PBL 예산은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

PBL 관련 연구는 제도 도입 초기 PBL을 처음 사용한 미국의 사례를 참고하여 한국군에 안정적으로 적용하기 위한 방안을 제시하는 연구가 주로 이루어졌다(Choi, 2008; Lee and Jung, 2009). 그러나 한국군은 PBL 시행 초기 핵심부품의 해외 의존도가 높은 방위산업 환경으로 인하여 무기체계 중 하위 시스템이나 구성품의 수리부속 구매와 정비를 중심으로 적용하였다. 그리고 PBL의 궁극적인 성과지표인 장비가동률을 측정하기보다는 군수지원 반응시간을 측정하는 성과지표를 사용하였다. 결과적으로 PBL 성과는 무기체계 중 일부 하위 시스템이나 구성품의 가동률 향상은 달성하였으나, 무기체계 전체 장비가동률 향상에는 기여하지 못하였다(Woo, 2014). 이러한 이유로 2010년 시작한 시범사업이 재계약되는 시점에는 PBL의 효과성을 제고시키기 위한 연구가 이루어졌다(Lee and Son, 2016; Kim et al., 2017). 하지만 기존 연구에서 한국군의 PBL이 장비가동률에 미치는 영향이 제한되는 원인을 실증분석하는 연구가 미흡하였다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 한국군의 PBL이 장비가동률 향상에 미치는 영향이 제한되는 원인을 분석한다. 둘째, 장비가동률 향상에 기여할 수 있는 PBL 적용범위와 성과지표 설정 방안을 제시한다. 이를 위해 한국군의 PBL 상황을 시뮬레이션 모델로 설계하고, 시뮬레이션 결과를 회귀분석하여 PBL 성과와 장비가동률 간의 관계를 분석할 수 있는 메타 모델을 제안한다.

본 연구는 1장 서론, 2장 이론적 고찰, 3장 연구 모델 설계, 4장 실증연구, 5장 결론으로 구성된다. 1장에서는 연구의 배경과 목적을 제시하였으며, 2장에서는 PBL의 개념과 성과지표에 대해 알아보고 한국군의 PBL 적용 상황을 고찰한다. 3장에서는 시뮬레이션 모델을 설계하고, 모델 실행에 필요한 입력자료를 분석한다. 그리고 메타 모델을 개발하기 위한 실험설계법을 설명한다. 4장에서는 작성된 모델을 실행하고, 메타 모델을 개발하여 한국군의 PBL이 장비가동률 향상에 기여할 수 있는 방안을 제시한다. 5장에서는 연구 결과를 요약하고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 성과기반군수와 성과지표

2.1.1 성과기반군수의 개념

PBL이란 주요 군수품의 안정적인 가동률을 보장하기

위해 군수지원 업체와 장기계약을 체결하여 소요군은 성과지표와 성과목표를 제시하고, 계약업체는 군수지원요소의 일부 또는 전부를 제공하여 수행 성과에 따라 대가를 차등 지급하는 제도를 의미한다. 2000년대 초 미국에서 국방 예산을 절감하기 위해 처음 사용한 이래로 영국, 호주 등 해외 여러 나라에서 장비가동률 보장과 총소유비용(TOC: Total Ownership Cost)을 절감하기 위해 시행되고 있다(Kang et al., 2005; Woo, 2014).

이러한 PBL은 민과 군이 협력하여 군수지원을 실시하는 것으로 협력정도에 따라 Figure 1과 같이 계약자 운송체계(CDS: Contractor Delivery System), 주공급자제도(PVS: Prime Vendor System), 계약자 군수지원(CLS: Contractor Logistics Support), 서비스 수준 계약(SLA: Service Level Agreement), 총체계지원협력(TSSP: Total System Support Partnership), 총체계성과책임계약(TSPR: Total System Performance Responsibility) 등 다양한 형태와 이름으로 적용되고 있다(DAU, 2005).

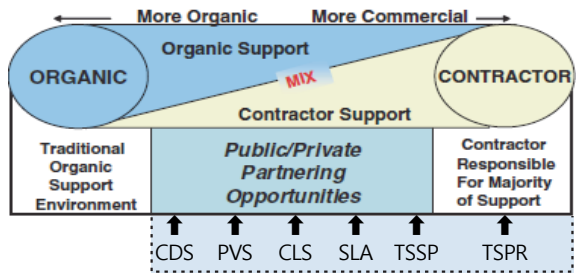


Fig. 1. Spectrum of PBL Strategies

(출처: DAU, Performance Based Logistics: A Program Manager's Product Support Guide, p.11을 정리 인용함.)

또한, Table 1과 같이 보급, 정비, 기술지원 등 다양한 요소를 포함할 수 있으며, 시스템, 하위 시스템, 구성품, 수리부속 등을 대상으로 적용할 수 있다(DAU, 2005).

2.1.2 성과지표

성과지표는 계약업체의 계약 이행 성과를 측정하기 위한 기준을 의미한다. 국방부 성과기반군수지원 훈령에 명시된 성과지표에는 운용가용도(Operational availability), 장비가동률, 운용신뢰성(Operational reliability), 군수지원 반응시간이 있다. 운용가용도는 일정기간에 무기체계가 임무를 수행하거나 가동할 수 있는 가용시간의 비율을 말하며, 장비가동률은 보유장비 중 가동장비의 비율을 의미한다. 운용신뢰성은 부여된 임무를 달성하기 위해 요구된 기능을 고장 없이 수행할 확률이며, 군수지원 반응

Table 1. PBL Support Integration

Category	Logistics Support Element		
	All	Multiple	Single
System Level	All elements for entire system	Multiple elements for entire system	Single element for entire system
Sub-System Level	All elements for sub-system	Multiple elements for sub-system	Single element for sub-system
Component Level	All elements for a single component	Multiple elements for a single component	Single element for a single component

출처: DAU, Performance Based Logistics: A Program Manager's Product Support Guide, p.23을 수정 인용함.

시간은 군수지원소요 발생시점부터 요구사항이 만족된 시점까지의 시간을 의미한다.

가용도(Availability) 측면에서 운용가용도와 장비가동률을 비교해 보면 운용가용도는 시간을 기준으로 산출하고, 장비가동률은 장비대수를 기준으로 산출한다. 각각 Equation은 (1)과 (2)와 같다. 장비가동률은 앞서 말한 것과 같이 보유장비 중 가동장비의 비율을 의미하는데, 장비가동률 산정지침에 입무 전·후에 수행하는 정비는 가동장비로 판정하고 있다. 그리고 장비가동률 산정 시 정비대체장비(MF: Maintenance Float)를 포함하고 있어 실제 장비가 불가동되고 있는 야전의 현실과 달리 높은 수준의 장비가동률을 유지하고 있다. 따라서 계획정비나 부대정비 등을 불가동시간(Down time)으로 포함하는 운용가용도가 더 정확한 가용도를 측정할 수 있다.

$$\text{운용가용도} = \frac{\text{가용시간}}{\text{총시간}} = \frac{Up\ time}{Up\ time + Down\ time} \quad (1)$$

$$\text{장비가동률} = \frac{\text{가동장비수}}{\text{보유장비수}} \times 100(\%) \quad (2)$$

2.2 한국군의 PBL 적용 상황

한국군은 2006년 신(新) 정비지원 개념으로 PBL 도입을 검토하여 2008년 5월 국방개혁 기본계획에 반영하였다. 이후 2009년 국방부는 PBL 정책추진전략을 수립하고, 동년 7월과 9월에 PBL 시행근거 조항을 방위사업법 시행령과 군수품관리법 시행령에 포함하였다. 2010년 3월에는 성과기반군수지원 훈령을 제정하였으며, 동년 6월에는 성과기반계약 업무 추진을 위한 세부지침으로 성과기반계약 운영지침을 제정하였다. 이와 같이 PBL 시행근거를 마련한 후 2010년 공군, 2011년 육군과 해군에서

시험사업을 시작하였다. 2017년 말 기준 9개 사업에서 PBL을 시행하였으며, 2018년 지상장비도 PBL을 추진하고 있다(국방일보, 2018).

PBL 적용범위는 무기체계 핵심부품의 국산화율이 낮아 주로 부품을 해외에서 도입하고 있는 국내 방위산업 환경으로 인해 일부 구성품의 수리부속 구매와 정비를 중심으로 시행되어 왔다. 반면, PBL을 선도하고 있는 미국, 영국 등 해외 국가에서는 전체 시스템 등 다양한 범주에서 PBL을 적용하고 있다. 한국군도 2017년 최초로 해병대 상륙기동헬기가 시스템 수준에서 PBL을 적용하였으나, 아직 많은 사업에서 조달기간 단축과 일부 구성품 가동률 제고에 중점을 두고 계약업체가 수리부속에 대한 공급자 역할을 수행하는 주공급자제도(Prime Vendor System)의 수준에 머물고 있다(Woo, 2014). 이와 같은 목적으로 PBL을 시행하고 있어 수리부속 보급 속도를 측정하는 성과지표가 많이 사용되고 있기 때문에 PBL 성과가 장비가동률에 미치는 영향을 설명하는데 제한이 따르고 있다.

3. 연구 모델 설계

한국군의 PBL이 장비가동률에 미치는 영향이 제한되는 원인을 실증분석하기 위해 PBL 상황을 구현한 시뮬레이션 모델을 설계하고, PBL 성과와 장비가동률 간의 관계를 분석할 수 있는 메타 모델을 제안한다.

3.1 시뮬레이션 모델

3.1.1 모델 개요

한국군의 PBL은 구성품 단위에서 수리부속 구매와 정비를 제공하는 형태로 시행하고 있다. 이를 참고하여 Figure 2와 같이 PBL 모델의 시뮬레이션 절차를 설계하였다. PBL 모델은 군 정비영역과 PBL 영역으로 구분된다. 군 정비 영역에서는 구성품에서 정비소요가 발생하면 정비부대가 구성품의 예비품을 보유하고 있는 경우 교체하여 정비를 완료한다. 구성품의 예비품이 없는 경우 어떤 수리부속의 고장인지 식별하여 수리부속을 교체하여 정비를 완료한다. 만약 수리부속 예비품이 없는 경우 재고를 보유할 때까지 장비는 불가동상태로 정비를 대기한다. PBL 영역에서는 군과 계약업체가 협의한 일정에 따라 수리부속 구매 또는 정비가 이뤄지고, 성과지표로 설정된 기간 내에 납품한다.

PBL 모델은 계약업체의 계약이행 성과가 PBL의 궁극

적인 목적인 장비가동률 향상에 미치는 영향을 확인하기 위해 설계하였다. 따라서 모델 입력자료는 Table 2와 같이 PBL로 수행하는 정비 또는 보급기간을 포함한다. 입력자료는 항목별로 확률분포 또는 상수로 정의할 수 있다. 출력자료는 PBL 성과로 나타나는 가용도가 된다.

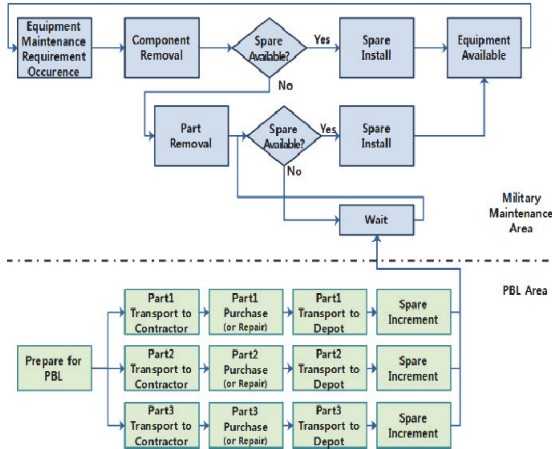


Fig. 2. Simulation Process of PBL Model

Table 2. Item and Definition of Simulation Model Design

Item	Definition
Maintenance requirement cycle	Component(or Part) maintenance requirement cycle
Repair cycle time	Component(or Part) real repair cycle time
Purchase cycle time	Component(or Part) real purchase cycle time
Amount of spare part	Used units real amount of spare part
Shipping time	Component(or Part) shipping time

3.1.2 시뮬레이션 대상

PBL 모델을 바탕으로 ARENA 14.5 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 모델을 설계하였다. 시뮬레이션 대상은 현재 PBL로 구성품 단위인 엔진을 모듈 단위로 분리하여 정비를 하고 있는 A 장비를 선정하였다. A 장비는 PBL을 시행하기 전에 국내 기술협력 업체에서 수행하던 엔진 창정비가 수리부속 확보 등의 문제로 장기간 소요됨에 따라 장비가동률 유지에 제한이 발생하였다. 이에 따라 군은 엔진 제작사와 5년간 엔진 정비를 지원하는 PBL 계약을 체결하였다. A 장비를 시뮬레이션 대상으로 선택한 이유는 첫째, 장비 전체가 아닌 구성품 단위인 엔진을

적용범위로 하고 있다. 둘째, 엔진 정비 시 7개 모듈로 분리하여 정비하고 있어 수리부속 단위인 각 모듈의 정비기간이 엔진가동률에 미치는 영향을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 전체 장비가동률에 미치는 영향을 측정할 수 있기 때문이다.

3.1.3 시뮬레이션 모델 설계

PBL 모델과 A 장비 정비 프로세스를 바탕으로 Figure 3과 같이 시뮬레이션 모델을 설계하였다. 시뮬레이션 모델은 크게 정비소요가 발생하는 부분과 각 정비과정을 묘사한 부분으로 구성된다. 각 정비과정은 정비부대가 예비품을 보유하고 있는 경우와 보유하고 있지 않은 경우로 구분한다. PBL은 엔진의 7개 모듈을 정비하는데 적용되고 있다. PBL 성과목표는 모듈 정비기간을 단축시켜 정비부대의 예비 엔진 수량을 적정수준으로 유지하게 함으로써 엔진가동률이 80% 수준에서 운용될 수 있도록 하는 것이다. 한편, 시뮬레이션 모델은 메인기어박스(Main Gear Box, 이하 MGB로 표기)라는 구성품 정비과정을 포함하고 있다. MGB는 엔진과 함께 전투교환구성품으로 군에서 관리하고 있다. 전투교환구성품은 신속하고 효율적인 정비지원 및 고장 복구를 위해 정비부대에 인가된 구성품으로 무기체계에서 중요한 기능을 수행한다. 전투교환구성품에 해당하는 엔진과 MGB 정비과정을 모델에 포함하여 장비가동률이 엔진 PBL 성과만으로 향상될 수 있는지 확인하고자 한다.

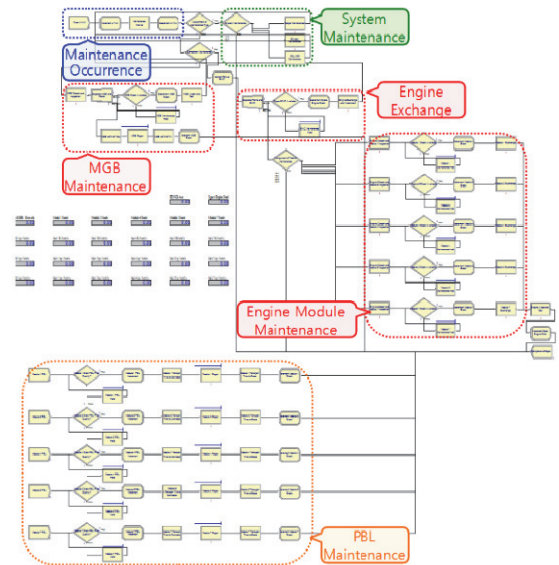


Fig. 3. Overall Architecture of Simulation Model

3.1.4 시뮬레이션 모델 입력자료

Table 2에 근거하여 시뮬레이션 모델에 입력할 자료는 장비정비정보체계(DELIIS: Defense Logistics Integrated Information System, 이하 DELIIS)에서 A 장비 PBL 사업기간 실적을 대상으로 수집하였다. PBL이 2016년부터 시작하였기 때문에 2016년 1월부터 2018년 6월까지 DELIIS에 입력된 자료를 수집하였고, 입력되어 있지 않은 자료는 정비부대의 자료에서 수집하였다. 수집한 자료를 바탕으로 정비발생 시간간격, 정비종류별 발생비율, 정비기간, 수송시간, 예비품 수량 등을 산출하였다.

첫째, 정비발생 시간간격을 산출한다. 모델에서 정비가 발생하는 간격을 산출하기 위해 정비 간 평균시간(MTBM: Mean Time Between Maintenance, 이하 MTBM)을 사용하였다. MTBM은 고장정비와 계획정비를 포함한 모든 정비행위 간의 평균시간을 의미하며, Equation (3)과 같이 계산한다.

$$MTBM = \frac{1}{(1/MTBM_u) + (1/MTBM_s)} = \frac{\text{총 운영시간}}{\text{총 정비횟수}} \quad (3)$$

* $MTBM_u = 1/\lambda$: 고장정비간 평균시간
 $MTBM_s = 1/f_{pt}$: 계획정비간 평균시간

DELIIS에서 2016년 1월부터 2018년 6월까지 A 장비 00대의 총운영시간을 확인한 결과 9,362.97시간이었고, 총정비횟수는 Table 3에서 보는 바와 같이 130회였다. 따라서 모델에서 정비발생 시간간격을 의미하는 MTBM은 Equation (4)로 계산하여 72.02H/회가 된다.

$$MTBM = \frac{9,362.97H}{130\text{회}} = 72.0228H/\text{회} \quad (4)$$

Table 3. Number of Occurrences by Type of Maintenance

Classification		Number of Maintenance		
		Unscheduled	Scheduled	
System	Depot	10		
	Field	71		
Component	Engine	#1 Module	1	5
		#2 Module	-	-
		#3 Module	1	6
		#4 Module	4	-
		#5 Module	11	-
		#6 Module	-	-
		#7 Module	4	4
MGB		6	7	
Total		130		

그러나 DELIIS에서 수집한 정비기간과 수송시간 자료가 일(day) 단위로 되어 있기 때문에 입력자료의 시간 단위를 시간(hour)에서 일(day) 단위로 변환해야 한다. 항공기가 24시간 작동하는 것이 아니므로 시간당 정비횟수 (㉑)와 일일 작동시간(㉒)을 이용해 항공기 1대의 정비발생 시간간격을 일(day) 단위로 변환하면 Figure 4 절차에 따라 154.34일/회가 된다. 모델에서 정비는 평균 154.34일 지수분포 시간간격으로 발생하도록 설정하였다.

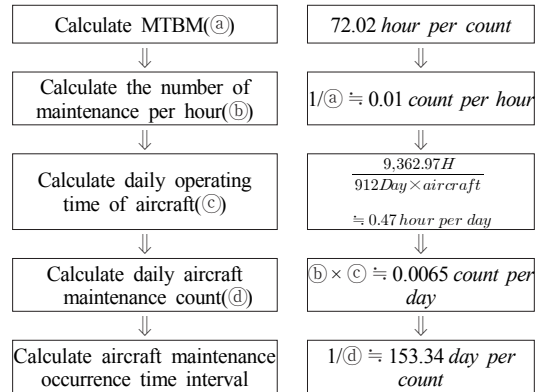


Fig. 4. Data Conversion Process

둘째, 정비종류별 발생비율을 산출한다. 모델에서 정비소요가 발생하면 어떤 정비인지 분류하는 절차를 거치게 된다. 정비소요가 발생하면 먼저 체계 수준의 정비인지 구성품 정비인지 분류하고, 체계 정비는 창정비와 야전정비로, 구성품 정비는 MGB와 엔진 정비로 분류한다. 각 분류 지점마다 분류 기준이 되는 자료는 정비종류의 발생횟수를 기준으로 산출한 비율이다. 모델에서 정비종류 분류 지점에 적용하는 비율은 Table 4와 같다.

Table 4. Classification of Maintenance type

Classification	Percentage						
	Classification	System	Component	Total			
System and Component	Count	81	49	130			
	Percentage	62.3	37.7	100			
	Classification	Depot	Field		Total		
Depot and Field	Count	10	32	39	81		
	Percentage	12.3	39.5	48.2	100		
	Classification	MGB	Engine	Total			
MGB and Engine	Count	13	36	49			
	Percentage	26.5	73.5	100			
	Classification	#1	#3	#4	#5	#7	Total
Engine Module	Count	6	7	4	1	8	36
	Percentage	16.7	19.4	11.1	30.6	22.2	100

셋째, 정비기간을 산출한다. Table 3에서 알 수 있듯이 엔진 모듈 2번과 6번은 자료 수집 대상 기간 중에 고장/계획정비가 발생한 적이 없어 모델에 포함하지 않았다. 이를 제외하고, DELIIS와 정비부대 자료에서 수집한 정비기간 자료를 ARENA 입력분석기를 이용하여 Table 5와 같이 확률분포를 추정하였다. 입력분석기는 수집한 자료의 추정 분포가 얼마나 맞는가를 측정하는데 유용한 도구이다(Kim and Lee, 2017). 확률분포 추정결과 창정비와 MGB 정비는 베타분포가 적합하였다. 그 외 1번 모듈은 삼각분포, 60주 점검과 3번 모듈은 지수분포, 4번 모듈은 일항분포, 200시간 점검과 5번 모듈은 와이블분포, 7번 모듈은 정규분포가 적합하였다.

Table 5. Probability Distribution of Maintenance Period

Classification		Probability Distribution	
System	Depot	80+400*BETA(0.894, 0.704)	
	Field	60week	4.5+EXPO(10.5)
		200hour	28.5+WEIB(23.2, 2.28)
Component	Engine	#1 Module	TRIA(140, 209, 238)
		#3 Module	116+EXPO(113)
		#4 Module	UNIF(155, 372)
		#5 Module	93+WEIB(83.8, 0.445)
		#7 Module	NORM(290, 73.7)
	MGB	414+574*BETA(0.437, 0.725)	

넷째, 수송시간, 부품 교체에 소요되는 시간을 추정한다. DELIIS에서 수집한 자료를 이용하여 확률분포를 추정한 결과는 Table 6과 같다. 엔진 모듈 교체 소요시간은 최솟값이 0.999일이고, 평균이 1.99일인 지수분포를 의미한다. 나머지 엔진 모듈과 MGB 수송에 소요되는 시간은 베타분포, 지수분포, 삼각분포 등 다양한 확률분포로 추정되었다. 소요시간이 1일 내외로 확률분포를 추정할 수 없는 엔진 탈거/부착 소요시간은 상수로 입력하였다.

마지막 예비품 수량을 계산한다. 정비 과정에서 사용하는 예비품 수량은 Table 7에서 보는 바와 같다. 엔진과 MGB는 군에서 전투교환구성품으로 관리하고 있다. 각각 정수는 16개, 8개이며, 보유수는 16개, 7개이다. 그러나 2018년 3/4분기 전투교환구성품 현황자료에 따르면 엔진은 16개를 보유하고 있지만 사용 가능한 엔진이 없는 것으로 되어 있다. 그 이유는 엔진 예비품 수량은 모듈을 완성품 형태인 엔진으로 몇 개를 조립하느냐에 따라 달라지기 때문이다. 현재는 모듈 정비방식으로 PBL을

Table 6. Probability Distribution of Other Time Required

Classification		Probability Distribution	
Engine Module Exchange		0.999+EXPO(1.99)	
MGB Exchange		TRIA(0.17, 3.15, 4)	
Engine	#1 Module	depot→contractor	TRIA(1.5, 73.5, 97.5)
		contractor→depot	TRIA(35.5, 62.2, 135)
	#3 Module	depot→contractor	1.5+10*BETA(1.09, 1.35)
		contractor→depot	32.5+EXPO(14.1)
	#4 Module	depot→contractor	0.5+WEIB(3.54, 1.14)
		contractor→depot	TRIA(51.5, 80, 89.5)
	#5 Module	depot→contractor	UNIF(1.5, 34.5)
		contractor→depot	37+WEIB(16.6, 0.398)
	#7 Module	depot→contractor	3.5+GAMM(2.52, 0.754)
		contractor→depot	TRIA(39.5, 52.5, 91.5)
MGB	depot→contractor	7+WEIB(25.9, 0.48)	
	contractor→depot	0.5+6*BETA(0.671, 1.39)	

지원하고 있기 때문에 엔진을 모듈로 분리하여 운영하고, 필요에 따라 완성품 형태로 조립해 두고 있다. 따라서 엔진 예비품 수량을 시뮬레이션 입력자료로 몇 개를 설정할지에 대해 명확한 기준을 적용할 수 없어 A 장비 엔진 PBL 사업 성과목표 산정 시 엔진가동률 80%를 달성하는데 필요하다고 판단한 4개로 설정하였다. 엔진 모듈 수량은 4개 엔진을 조립하였을 때 남는 수량으로 설정하였다.

Table 7. Number of Spare

Classification	Count	
Engine	4	
MGB	7	
Engine	#1 Module	15
	#3 Module	13
	#4 Module	15
	#5 Module	15
	#7 Module	12

3.2 메타 모델 개발을 위한 실험설계

시뮬레이션을 실행할 때 많은 입력요소에 대해 효과적인 실험설계를 하여 적은 비용과 노력을 통해 결과를 추출할 수 있도록 실험설계법을 사용한다(Lee and Jung, 2009). 본 연구는 PBL을 통해 수리부속을 정비할 때 PBL 성과가 장비가동률에 미치는 영향을 측정하기 위해 MGB와 모듈의 정비기간을 요인으로 NOLH(Nearly Orthogonal

Latin Hypercube)기법을 이용하여 시나리오를 구성하고, 요인의 영향력을 확인하기 위해 메타 모델을 개발한다. NOLH 기법은 기존 LHD(Latin Hypercube Design)가 갖는 직교성에 의한 표본추출로 극단값을 포함하는 개념과 Uniform Design에서의 표본간의 최대 최소거리를 최소화하는 개념을 접목하여 실험영역 전반에 걸쳐 표본이 고르게 추출되도록 하였으며 각 표본이 직교성을 가지고 있기 때문에 다중 공선성 등의 문제가 발생하지 않고 표본을 추출할 수 있게 해준다(Cioppa, 2002). 메타 모델은 시뮬레이션 모델의 출력을 통계적으로 분석하여 비교적 간단한 근사함수로 구현한 것으로 종속변수에 대한 독립변수의 영향을 회귀분석을 통해 산출한다(Kang, Lee, Um, 2006). 본 연구에서 회귀분석은 둘 이상의 독립변수와 종속변수 간의 변화를 예측하는 다중 회귀분석 방법을 이용하였으며, 입력력 자료를 정리 후 다중 회귀분석 중 선형으로 메타 모델을 개발하였다(Kim, Yong, Kwon, 2012).

메타 모델을 산출하기 위해 NOLH 기법으로 Table 8 과 같이 시나리오를 구성하였다. 본 연구에서 독립변수는 MGB와 엔진 모듈 정비기간 6개이고, 종속변수는 장비 가동률이다. NOLH 기법에서 요인이 2-7개인 경우 17개의 시나리오가 요구된다. 시나리오 1번의 MGB 정비기간은 실적자료의 최솟값 414일, 최댓값 988일을 범위로 해서 그 중 593일이라는 자료를 추출하였다는 것이다. 17개 시나리오 외에 시나리오 18번, 19번은 각각 정비기간 최솟값과 최댓값만으로 구성된 시나리오로써 모델의 타당성 검증에 위해 극한조건 평가를 실시하도록 추가하였다. 또한, 시나리오 20번은 A 장비 PBL 사업에서 성과 지표로 주어진 정비기간 120일로 엔진 모듈 정비기간을 구성한 것으로 모든 품목에 동일한 성과지표를 설정하는 것이 타당한지 검토하기 위해 추가하였다. 시나리오로 입력되는 MGB와 엔진 모듈의 정비기간을 제외한 나머지 입력자료는 Table 4, 5, 6, 7을 입력한다.

4. 실증연구

4.1 실행조건

시나리오로 입력되는 MGB와 엔진 모듈의 정비기간을 제외하고 나머지 수송시간, 체계 정비시간, 모듈 교체 시간 등은 확률분포로 입력한다. 충분한 통계량을 확보하기 위해 시나리오마다 500회씩 반복 시행한다. 시뮬레이션 실행기간은 A 장비 PBL 계약기간과 동일하게 5년(1,825일)으로 설정하였다.

Table 8. Maintenance Period for Meta Model Design

Scenario	Maintenance Period					
	MGB	#1 Module	#3 Module	#4 Module	#5 Module	#7 Module
1	593	237	398	236	171	390
2	450	164	420	277	93	253
3	486	182	138	209	287	363
4	522	201	224	372	268	212
5	845	231	268	182	190	185
6	988	170	246	331	112	349
7	773	158	463	223	365	281
8	737	225	376	358	346	322
9	701	189	290	264	249	295
10	809	140	181	291	326	199
11	952	213	159	250	404	336
12	916	195	441	318	210	226
13	880	176	355	155	229	377
14	558	146	311	345	307	404
15	414	207	333	196	385	240
16	629	219	116	304	132	308
17	665	152	203	169	151	267
18	414	140	116	155	93	185
19	988	237	463	372	404	404
20	414	120	120	120	120	120
Max Val	988	237	463	372	404	404
Min Val	414	140	116	155	93	185

4.2 시뮬레이션 모델의 타당성 검증

모델의 코딩이 정상적으로 이루어졌는지 ARENA 프로그램의 Check Model 기능을 통해 점검한 결과 오류는 없었다. 모델의 타당성을 검증하기 위해 극한조건 평가와 시뮬레이션 경향성 분석을 실시하였다. 첫째, 극한조건 평가이다. Table 8 시나리오 가운데 정비기간 최솟값과 최댓값으로 구성된 시나리오 18번, 19번의 장비가동률은 각각 60.8917%, 72.9849%이었다. 나머지 시나리오의 장비가동률은 최소 62.0195%에서 최대 72.2118% 범위를 나타내어 시뮬레이션 결과값이 타당하다고 판단된다.

둘째, 시뮬레이션 경향성 분석이다. 실적자료의 정비기간 최솟값으로 구성된 18번 시나리오에서 10일씩 증가시켜가며 장비가동률의 변화를 관찰하였다. 시뮬레이션 결과 Figure 5와 같이 가동률 값이 발산하거나 일정한 수치로 수렴하지 않고, 추세선이 정비기간에 반비례하여 나타났다. 정비기간이 길어지면 가동률이 감소하는 현실을 반영하고 있다.

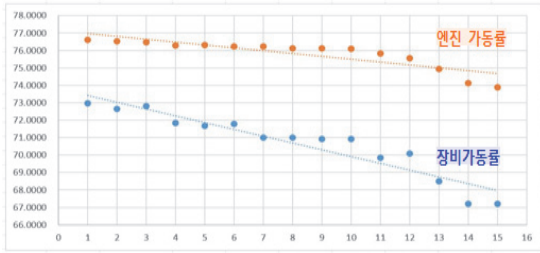


Fig. 5. Result of Simulation Tendency Analysis

4.3 시뮬레이션 결과 분석

4.3.1 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 모델에서 장비가동률과 엔진가동률은 통제변수로 설정되어 있으며, 500회 반복 시행의 평균값으로 산출된다. 시뮬레이션 결과 Table 9와 같다. 모든 시나리오에서 성과목표인 엔진가동률 80%를 달성하지 못하고 있다.

Table 9. Simulation Result of Maintenance Period Scenario

Scen.	MGB	Module					Availability	
		#1	#3	#4	#5	#7	Equipment	Engine
1	593	237	398	236	171	390	66.3021	73.7388
2	450	164	420	277	93	253	71.2218	75.6776
3	486	182	138	209	287	363	68.1236	73.6017
4	522	201	224	372	268	212	70.3610	75.8876
5	845	231	268	182	190	185	67.1943	76.6354
6	988	170	246	331	112	349	64.8608	74.9019
7	773	158	463	223	365	281	64.2647	73.4020
8	737	225	376	358	346	322	62.4663	72.0891
9	701	189	290	264	249	295	67.4189	75.5137
10	809	140	181	291	326	199	65.1709	74.6226
11	952	213	159	250	404	336	62.0195	72.7255
12	916	195	441	318	210	226	65.9310	75.7488
13	880	176	355	155	229	377	63.7833	74.0675
14	558	146	311	345	307	404	65.6211	72.7261
15	414	207	333	196	385	240	68.0472	73.0674
16	629	219	116	304	132	308	67.8646	74.9810
17	665	152	203	169	151	267	69.5198	76.6213
18	414	140	116	155	93	185	72.9849	76.6204
19	988	237	463	372	404	404	60.8917	71.8650
20	414	120	120	120	120	120	72.8837	76.8150

4.3.2 PBL 성과가 장비가동률에 미치는 영향

우선 PBL 성과가 장비가동률에 미치는 영향을 확인하기 위해 엔진 모듈 정비기간과 장비가동률을 SPSS 20.0을 이용하여 회귀분석 하였다. 회귀분석 결과는 Table 10과

같으며, 회귀분석을 통해 산출한 메타 모델은 Equation (5)와 같다.

Table 10. Result of Regression Analysis I

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.	Collinearity statistic	
	B	Std. err	Beta			Tolerance	VIF
Constant	77.276	5.411		14.282	.000		
#1	-.008	.019	-.097	-.429	.676	1.00	1.00
#3	-.003	.005	-.124	-.553	.591	1.00	1.00
#4	-.002	.009	-.062	-.277	.787	1.00	1.00
#5	-.013	.006	-.503	-2.237	.047	1.00	1.00
#7	-.015	.008	-.400	-1.779	.103	1.00	1.00

R: .666, R²: .443, 수정된 R²: .190, 유의확률 F 변화량 = .204

$$\hat{Y} = 77.276 - 0.008X_{Module1} - 0.003X_{Module3} - 0.002X_{Module4} - 0.013X_{Module5} - 0.015X_{Module7} \quad (5)$$

각 모듈의 회귀계수가 음수(-)로 장비가동률에 부(-)의 영향을 미치고 있어 정비기간이 길어질수록 가동률이 저하되는 실제 상황을 반영하고 있다. 개별 독립변수의 유의확률을 보면 5번, 7번 모듈 정비기간이 장비가동률에 미치는 영향이 유의하다고 볼 수 있다. 또한, 독립변수 간의 영향력의 크기를 비교할 수 있는 표준 회귀계수도 5번, 7번 모듈이 다른 모듈에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체 설명력(R²)이 0.443(44.3%)으로 높지 않아 모듈 정비기간만으로 장비가동률을 설명할 수 없다.

다음은 MGB 정비기간을 포함하여 각 부품의 정비기간이 장비가동률에 미치는 영향력을 확인해 보았다. 결과는 Table 11과 같으며, 메타 모델은 Equation (6)과 같다.

Table 11. Result of Regression Analysis II

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.	Collinearity statistic	
	B	Std. err	Beta			Tolerance	VIF
Constant	84.334	2.155		39.142	.000		
MGB	-.010	.001	-.699	-8.462	.000	1.00	1.00
#1	-.008	.007	-.097	-1.173	.268	1.00	1.00
#3	-.003	.002	-.125	-1.514	.161	1.00	1.00
#4	-.002	.003	-.062	-.750	.471	1.00	1.00
#5	-.013	.002	-.503	-6.095	.000	1.00	1.00
#7	.015	.003	-.400	-4.838	.001	1.00	1.00

R: .965, R²: .932, 수정된 R²: .891, 유의확률 F 변화량 = .000

$$\hat{Y} = 84.334 - 0.010X_{MGB} - 0.008X_{Module1} - 0.003X_{Module3} - 0.002X_{Module4} - 0.013X_{Module5} - 0.015X_{Module7} \quad (6)$$

모듈 정비기간만으로 회귀분석 할 때보다 전체 설명력 (R^2)이 0.932(93.2%)로 높게 나타났다. 즉, MGB 정비기간을 포함해야지 장비가동률에 대한 설명력이 높아진다. 개별 독립변수의 유의확률과 표준 회귀계수를 비교해 보면 5번, 7번 모듈과 MGB 정비기간이 장비가동률에 미치는 영향이 유의하다고 볼 수 있다. 하지만 표준 회귀계수는 MGB가 가장 크므로 MGB 정비기간이 장비가동률에 미치는 영향력이 모듈 정비기간보다 크다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 회귀분석을 통해 알 수 있는 것은 MGB에서 정비기간이 지연되어 병목지점이 발생한다면 엔진만을 대상으로 PBL로 정비기간을 단축하더라도 장비가동률에 영향이 제한적일 수 밖에 없다는 것이다. 따라서 PBL 적용범위를 검토할 때 장비가동률에 영향력이 큰 구성품을 평가해보고 이를 포함하는 체계 수준에서 적용해야 한다.

4.3.3 성과지표가 엔진가동률에 미치는 영향

시뮬레이션 결과 Table 9를 보면 모든 시나리오에서 PBL 성과목표인 엔진 가동률 80%를 달성하지 못하고 있다. 정비기간 최솟값으로 구성된 18번 시나리오와 성과지표인 120일로 엔진 모듈 정비기간이 주어졌을 때도 성과목표에 못 미치고 있다.

성과목표는 계약업체가 성과지표에 따라 달성해야할 목표를 말하는데 A 장비 PBL의 성과지표는 모듈 정비기간 120일로 주어져 있다. Table 5에서 보는 것과 같이 모듈별로 정비기간이 상이하다는 것은 각각 정비 과정에 차이가 존재한다는 것을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 120일 동일한 성과지표를 적용하고 있다. 과연 모든 모듈에 똑같은 성과지표를 적용하는 것이 타당한지 분석하기 위해 모듈 정비기간이 엔진가동률에 미치는 영향력을 회귀분석 해보았다.

Table 12. Result of Regression Analysis III

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.	Collinearity statistic	
	B	Std. err	Beta			Tolerance	VIF
Constant	82.466	1.433		57.555	.000		
#1	-.004	.005	-.090	-.824	.427	1.00	1.00
#3	-.002	.001	-.134	-1.227	.245	1.00	1.00
#4	-.002	.002	-.117	-1.065	.310	1.00	1.00
#5	-.010	.002	-.688	-6.295	.000	1.00	1.00
#7	-.012	.002	-.594	-5.429	.000	1.00	1.00

R: .666, R^2 : .443, 수정된 R^2 : .190, 유의확률 F 변화량 = .204

$$\hat{Y} = 82.466 - 0.004X_{Module1} - 0.002X_{Module3} - 0.002X_{Module4} - 0.010X_{Module5} - 0.012X_{Module7} \quad (7)$$

회귀분석 결과는 Table 12와 같으며, 메타 모델은 Equation (7)과 같다. 장비가동률과 마찬가지로 엔진 가동률에도 5번, 7번 모듈 정비기간의 영향력이 큰 것으로 나타났다.

다음 4가지 사례로 민감도 분석을 통해 성과지표를 얼마로 설정하였을 때 성과목표를 달성할 수 있는지 확인해 볼 수 있다. ①은 모든 모듈의 성과지표를 10일씩 감소, ②는 영향력이 큰 5번, 7번 모듈만 성과지표를 10일씩 감소, ③은 7번 모듈만 성과지표를 10일씩 감소, ④는 5번 모듈만 성과지표를 10일씩 감소시킨 것이다. 모든 모듈이 성과지표를 80-90일 사이에 설정할 경우 성과목표를 달성할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 모든 모듈 정비 과정에서 성과지표를 줄일 경우 많은 비용이 투입되어야 할 것이다. 그리고 5번 또는 7번 모듈 성과지표만 줄일 경우 30일 이하로 설정해야 하는데 이는 기존 정비 실적으로 고려할 때 이행 가능성이 희박하다. 대신 5번, 7번 모듈을 함께 90일 이하로 성과지표를 설정하고 성과를 관리하면 성과목표를 달성할 가능성이 높아질 것이다. 따라서 적용범위에 포함되는 구성품 또는 수리부속에 동일한 성과지표를 설정하기 보다는 품목별 정비여건, 업체 상황을 고려해 성과지표를 차등 적용해야 한다.

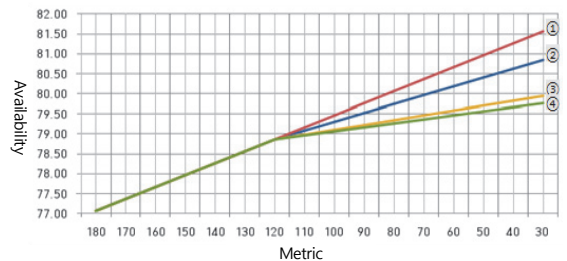


Fig. 6. Engine Availability by Metric Decrease

5. 결론

한국군은 군수혁신을 위해 끊임없는 노력을 기울이고 있으며, 민간 자원과 선진 기법을 적극 도입하고 있다. 그 일환으로 도입된 PBL도 어느덧 10여 년이 경과하였다. 그동안 많은 사업에서 가시적인 성과를 거둔 것으로 평가되고 있다. 그러나 핵심부품의 해외 의존도가 높은 방위산업 환경에서 수리부속의 원활한 보급을 위해 제한된 범위에 적용되어 왔고, PBL 적용목적인 장비가동률이 향

상되었다는 유의미한 증거를 제시하지 못하고 있다.

본 연구는 이렇듯 한국 PBL이 가지는 한계점과 그 원인을 평가하기 위해 시뮬레이션 모델과 메타 모델을 제안하였다. 이를 통해 PBL 적용범위와 성과지표 설정방안을 제안하였다. 연구 결과 PBL 적용범위는 시스템, 하위 시스템, 구성품, 수리부속으로 구분할 수 있는데 한국 PBL은 일부 구성품과 수리부속 수준에 제한되어 장비가 동틀 영향 요소 중 일부만 충족하고 있어 영향력이 제한적일 수밖에 없었다. 그리고 수리부속 개개의 특성을 고려하지 않고 성과지표를 동일하게 설정하고 있어 성과목표를 달성하지 못하고 있었다. 따라서 장비가동률에 영향을 미치는 핵심구성품을 모델을 통해 평가해 보고, 이를 PBL 적용대상에 포함하는 노력이 필요하다. 그리고 성과목표를 달성하기 위해서는 성과지표를 적용 품목의 특성을 고려하여 차등 적용할 필요가 있겠다.

본 연구의 결과는 선행연구의 결과와 일치한다. 다만, 1개 장비를 대상으로 처음으로 실증연구 하였기 때문에 연구 결과의 일반화가 제한된다는 한계점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법론을 복수 장비에 적용하여 표본 범위를 확대한 연구가 이뤄질 필요가 있다. 또한, 가용도 측면에서 PBL 성과를 더 정확하게 측정할 수 있는 운용가용도를 시뮬레이션 결과값으로 사용하지 못했다. 연구에서 장비대수를 기준으로 하는 장비가동률을 사용한 것은 DELIIS와 정비부대에서 자료가 일(day) 단위로 관리되고 있기 때문이다. 향후 전력화 예정인 군수통합정보시스템에서 정비기간과 수송기간이 시간(hour) 단위로 관리된다면 PBL에서 운용가용도를 성과지표로 사용할 수 있을 것이며, PBL 성과를 더 정확하게 측정할 수 있을 것이다.

References

1. 국방일보, “무기체계 성능 발휘하게 군수혁신 지속” (Downloaded March 16, 2018)
2. 국방일보, “예산 70억 털고 장비 안정적 가동 ‘PBL이 답이다’”(Downloaded December 05, 2018)
3. Baek, J. O.(2018) *Contents and point of the Korea national defense budget in 2018*, Seoul: Korea Institute for Defense Analyses.
4. Choi, S. C.(2008) “A Study on the Improvement of Logistic Support by Performance Based Logistics,” *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 34(2), 43-61.
5. Cioppa, Thomas M.(2002) *Efficient Nearly Orthogonal and Space-Filling Experimental Designs for High-Dimensional Complex Models*, Monterey: Naval Postgraduate School.
6. Jin, A. Y., H. S. Lee(2016) “Cost analysis for applying PBL to equipment maintenance,” *The Korean Journal of Defense Analysis*, 113, 226-245
7. Kang, K. B., Kenneth Doerr, Michael Boudreau and Uday Apte(2005) *A decision support model for valuing proposed improvements in component reliability*, Monterey: Naval Postgraduate School.
8. Kang, J. Y., H. C. Lee, I. S. Um(2006) “A Study for Design Optimization of an Automated Distribution Center using the Simulation and Metamodel,” *Journal of the Korea Society for Simulation*, 15(3), 103-114.
9. Kim, K. R., H. Y. Yong, K. S. Kwon(2012) “Optimization for Concurrent Spare Part with Simulation and Multiple Regression,” *Journal of the Korea Society for Simulation*, 21(3), 79-87.
10. Kim, S. K., S. J. Lee(2017) “A Case Study on the Cost Effectiveness Analysis of Depot Maintenance Using Simulation Model and Experimental Design”, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 26(3), 23-34.
11. Kim, T. K., K. B. Wi, K. S. Lee(2017) *A study on the development of PBL contract*, Seoul: Korea Institution of National Defense Development. (김태교, 위겸복, 이경생(2017) “성과기반군수지원 계약제도의 발전방안 연구”(연구보고서), 한국국방발전연구원)
12. Lee, S. J., B. K. Jung(2009) “A Study on the Influence in Applying the performance Based Logistics with a Case of the KUH Engine,” *Journal of the Korea Association of Defence Industry Studies*, 16(2), 50-76.
13. Lee, J. S., S. K. Son(2016) “Strategic management plan of PBL contract,” *Korea Defense Industry Association Defense & Technology*, 446, 44-61.
14. U.S. Defense Acquisition University(2005) *Performance Based Logistics: A Program Manager's Product Support Guide*.
15. Woo, J. U., H. K. Kang, N. Y. Kwon and A. Y. Jin(2014) *Effective promotion method of PBL*,

Seoul: Korea Institute for Defense Analyses.
(우제웅, 강한국, 권남연, 진아연(2014) “성과기반군

수지원제도의 효율적 추진 방안”(연구보고서), 한국
국방연구원)



원 봉 연 (beforetiger@naver.com)

2007 해군사관학교 군사전략학과 학사
2018 국방대학교 국방관리대학원 군수조달전공 석사
2019~ 현재 합동군사대학교 학생장교

관심분야 : 획득군수관리, 방위산업



이 상 진 (sangjlee@hotmail.com)

1981 서울대학교 경영학과 학사
1985 미국 University of San Francisco MBA
1993 미국 University of Wisconsin-Madison 경영학전공 박사
1993~ 현재 국방대학교 국방관리대학원 군수조달전공 교수

관심분야 : 계량경영분석, 획득군수관리, 방위산업