



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 청구논문
2023학년도

자재조달 중심의 성과기반군수지원 하에 운용가용도 영향 요인 분석

Factors influencing Operational Availability under Spare
parts Procurement Centric Performance Based Logistics



광운대학교 대학원
방위사업학과
한 우 진

자재조달 중심의 성과기반군수지원 하에
운용가용도 영향 요인 분석

Factors influencing Operational Availability under Spare
parts Procurement Centric Performance Based Logistics



광운대학교 대학원
방위사업학과
한 우 진

자재조달 중심의 성과기반군수지원 하에
운용가용도 영향 요인 분석

Factors influencing Operational Availability under Spare
parts Procurement Centric Performance Based Logistics

지도 정 석 재 교수

이 논문을 공학 석사학위논문으로 제출함

2023년 12월 일

광운대학교 대학원

방위사업학과

한 우 진

한우진의 공학 석사학위논문을 인준함

심사위원장 _____ 김 장 엽 _____ 인

심사위원 _____ 최 성 규 _____ 인

심사위원 _____ 정 석 재 _____ 인

광운대학교 대학원

2023년 12월 일

감사의 글

먼저 2년간의 석사 과정에서 학문적 조언뿐만 아니라 생활에 불편함이 없도록 전폭적인 지원을 해주신 정석재 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 늘 학생을 배려해주시고 챙겨주신 덕분에 큰 어려움 없이 학위 과정을 마칠 수 있었습니다. 또한, 김장엽 교수님과 김정수 교수님! 개인연구나 연구용역과제를 하며 궁금한 걸 여쭙보았을 때, 언제나 잘 알려주시고 도와주셔서 감사했습니다. 교수님들께서 항상 학생들을 존중하고 배려해주셨음을 졸업할 때 되어서야 느끼게 됩니다. 그리고 논문 작성 방향에 도움을 주신 최성규 교수님뿐만 아니라 학과장으로 계신 손채봉 교수님, 방위사업연구소에서 힘써주고 계신 심우석, 이광현, 박용식 교수님, 주이화 박사님 모두 감사드립니다. 연구실에서 같이 생활한 성범이 형, 대관이, 민선이, 바다, 동윤이에게도 모두 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 같이 수업을 들으며 많이 챙겨주신 박지호 선배님, 학과 사무실에서 고생해주신 최희연, 정운희 선생님, 방소운 조교님 감사드립니다. 마지막으로 원하는 분야의 일을 할 수 있도록 기다려주고 응원해주신 부모님께 감사드립니다.

2년 전 국방 관련 일을 하고 싶다는 막연한 생각으로 학과에 입학했습니다. 학과에서 여러 세미나와 프로젝트 등을 통해 조금씩 방산을 이해하며 진로설계 그리고 취업까지 큰 도움을 얻을 수 있었습니다. 아직까지 잘 모르겠지만, 필드에서 더 배워나가며 국방에 기여할 수 있는 사람이 되겠습니다.

자재조달 중심의 성과기반군수지원 하에 운용가용도 영향 요인 분석

최근 군은 무기체계의 첨단화, 공급망 교란 등으로 인해 무기체계 가동률 감소와 함께 무기체계 운용에 어려움을 겪고 있다. 이에 한국 국방부는 운용가용도 향상을 통한 전투준비태세 보장을 목적으로 성과기반군수지원 도입을 반영하고 운영해왔다. 그러나 자재조달을 중심으로 한 성과지표 적용은 무기체계 운용가용도 향상 및 유지에 효과가 있는가에 대한 논란이 있으며, 자재조달이 운용가용도에 어떤 영향을 미치는지에 대한 분석이 요구되고 있다. 본 연구는 자재조달에 가장 큰 영향을 주는 수리부속품의 후불률을 포함하여 MTBR, MTTR, 예비모듈 수가 항공기 운용가용도에 어떤 영향을 미치는지를 알아보았다. 또한, 성과기반군수지원을 통해 수리부속품의 후불률을 개선하였을 때, MTBR, MTTR, 예비모듈 수의 변화에 따라 운용가용도 향상에 어느 정도 효과가 있는지 anylogic 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 결과적으로 후불률에 대한 운용가용도의 민감도 정도는 MTBR이 가장 영향을 많이 미치는 것을 확인하였다.

핵심되는 말 : 성과기반군수지원, 운용가용도, 후불률, 성과지표

ABSTRACT

Factors influencing Operational Availability under Spare parts Procurement Centric Performance Based Logistics

HAN Woo-jin

Dept. of Defense Acquisition Program

The Graduate School of Kwangwoon University

Recently, the military is struggling to operate the weapon system along with a decrease in the operational availability of the weapon system due to the advancement of the weapon system and supply chain disturbance. Accordingly, the Ministry of National Defense of Korea has reflected and operated the introduction of performance-based logistics for the purpose of guaranteeing combat readiness by improving the operational availability. However, there is controversy over whether the operational availability of the weapon system is effective in improving and maintaining the application of performance indicators centered on material procurement, and analysis of how material procurement affects the operational availability is required. This study investigated how the number of MTBR, MTTR, and spare modules, including the backorder rate of repair accessories, which have the greatest impact on material procurement, affect the use of aircraft. In addition, when a company improves the backorder rate for repair accessories through a PBL contract, it was analyzed through anylogic simulation to what extent the number of MTBR, MTTR, and spare modules is effective in improving the use of operation. As a result, it was confirmed that MTBR has the most influence on the sensitivity of

the operational availability use to the backorder rate.

Keywords: Performance Based Logistics, Operational availability,
backorder rate, performance indicator



목 차

국 문 요 약	i
ABSTRACT	ii
목 차	iv
그 립 목 차	vi
표 목 차	vii
제1장 서 론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 필요성 및 목적	3
제2장 이론적 고찰	6
1. PBL 개념	6
2. PBL 이론의 프레임워크	8
3. 성과지표 정의와 정렬	11
4. 사업목표 및 성과지표 종류	13
5. 공군 PBL 성과지표 적용현황	14
제3장 선행연구 고찰	19
1. 운용가용도 구조	19
2. 운용가용도 영향 요인 관련 연구	22
3. 기존 선행연구의 한계점	24

제4장 모델의 구성	25
1. 변수 설정	25
2. 모델 대상	27
3. 항공기 엔진 정비 프로세스	28
4. 입력 데이터	30
제5장 시뮬레이션 모델 및 결과분석	32
1. PBL 시뮬레이션 모델	33
2. 시뮬레이션 결과	35
2.1. 각 변수와 운용가용도의 관계	36
2.2. 두 가지 변수와 운용가용도의 관계	39
제6장 결론	44
참고문헌	50

그림 차례

그림 1. PBL 성숙도 모델	3
그림 2. PBL 개념 프레임워크	9
그림 3. Uptime과 Downtime 요소	20
그림 4. 연구범위	24
그림 5. F100-PW-229 엔진 내부 모듈 구성	27
그림 6. KF-16 엔진 정비 프로세스	28
그림 7. Anylogic PBL 시뮬레이션 모델	33
그림 8. 시뮬레이션 결과	35
그림 9. 변수별 변동에 대한 운용가용도 그래프	38
그림 10. 후불 감소율과 MTBR에 따른 운용가용도	40
그림 11. 후불 감소율과 MTTR에 따른 운용가용도	42
그림 12. 후불 감소율과 예비모듈 수에 따른 운용가용도	43

표 차 례

표 1. 연도별 성과기반군수지원 예산	2
표 2. 한국 공군의 PBL 성과지표 적용현황	4
표 3. PBL 사업목표, 성과지표, 성과목표 정의	11
표 4. PBL 사업목표의 종류	13
표 5. 공군 PBL 사업목표 및 지표 적용 현황	14
표 6. KT/A-1의 PBL 성과목표 달성치	15
표 7. KT/A-1의 PBL 적용 전후 개선 정도	16
표 8. F-15K의 PBL 적용 전후 개선 정도	17
표 9. PBL 성과지표 분류	21
표 10. 시뮬레이션 설정 변수 종류 및 변화범위	26
표 11. KF-16 엔진 모듈별 창정비 횟수 및 비율	31
표 12. KF-16 엔진 모듈별 창정비 소요기간	31
표 13. KF-16 항공기, 예비엔진 및 예비모듈 수	31
표 14. 변수별 변동에 대한 운용가용도 값	36
표 15. 후불 감소율과 MTBR에 따른 운용가용도	40
표 16. 후불 감소율과 MTTR에 따른 운용가용도	41
표 17. 후불 감소율과 예비모듈 수에 따른 운용가용도	43

제1장 서론

1. 연구 배경

최근 무기체계의 첨단화, 복합 다기능화가 진행되며 고장률과 정비 난이도가 상승하고 있으며 공급망 교란으로 해외 수리부속 조달이 불안정해지고 있다. 군 내부에서는 정비병의 전문성 및 숙련도 저하, 군수 인력의 축소, 업체의 핵심기술 정비의 정보공유 제한 등으로 인해 정비역량이 낮아지고 있다. 이러한 요인들은 무기체계 가동률 감소와 운영유지비 증가를 가중하고 있어 군은 무기체계 운용에 어려움을 겪고 있다.

한국 국방부는 전투준비태세 보장, 총소유비용 절감, 국가정비역량 강화를 핵심목적으로 2008년 국방개혁기본계획에 성과기반군수지원(PBL, Performance Based Logistics) 도입을 반영하고 2010년 3개 장비에 적용을 시작하였다(한국개발연구원, 2018). PBL은 군과 업체 간 성과를 기준으로 이뤄지는 장기계약으로, 군은 성과지표와 성과목표를 업체에게 제시하고 성과목표 달성 정도에 따라 성과금 또는 벌과금을 부여하는 제도이다. PBL 계약을 통해 성과목표 달성 시 업체는 수익을 얻을 수 있고 군은 전투기능에 집중할 수 있는 장점이 있다.

미국 등 PBL을 시행한 국가에서 운용유지비용 절감, 무기체계 가동률 향상 등의 효과가 있었다는 연구 결과가 보고되어 왔으며(Boyce & Banghart, 2012; Glas, 2020) 한국군도 재고비용의 절감, 군수지원속도의 개선 등의 성과가 있었다(원봉연, 이상진, 2018). 이로부터 PBL은 첨단화, 복합화되는 무기체계의 전력화와 동시에 군의 병력감축, 정비역량 감소 등 군수지원환경 변화에 대응할 수 있는 제도라 평가되고 있다(권남

연, 홍록지, 강석중, 2023). 이에 따라 한국 국방부는 <표 1>과 같이 과거 항공장비 위주로 적용된 PBL 대상을 지상/해상장비로 확대하고 있으며 예산 또한 지속적으로 증가하고 있다(국회예산정책처, 2022).

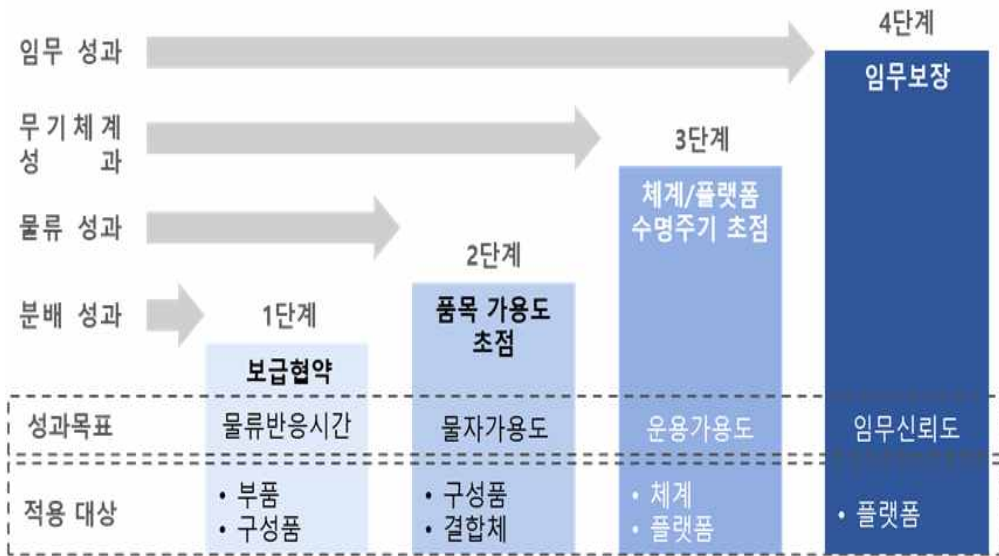
<표 1> 연도별 성과기반군수지원 예산

(단위 : 억 원)

구분		2019년	2020년	2021년	2022년	2023년(안)
1	UAV	58	61	61	61	61
2	천마	168	292	292	244	244
3	K1	464	472	289	108	161
4	K9	136	139	142	87	178
5	ARTHUR-K	135	147	148	142	166
6	수리온	-	-	146	244	219
7	홍상어	37	63	87	78	110
8	Lynx 엔진	130	74	105	140	178
9	F-15K	781	845	859	1,524	1,097
10	F100 엔진	1,009	1,091	1,110	947	1,024
11	T-50	700	680	760	1,314	1,117
12	KT/A-1	93	189	126	111	118
13	마린온	-	0.1	52	-	-
14	704사업	-	-	-	47	54
15	CH-47	-	-	-	872	1,184
16	KT-100	-	-	-	-	28
17	TAS-1	-	-	-	120	168
18	K21	-	-	-	420	287
19	천궁	-	-	-	160	160
20	E-737	-	-	-	339	275
합계		3,711	4,053.1	4,177	6,958	6,829

2. 연구 필요성 및 목적

무기체계 특성에 따라 다를 수 있으나, 일반적으로 PBL에서 업체가 담당해야 할 범위가 클수록 군은 임무 수행을 더욱 보장받을 수 있다 (Lucyshyn & Rigilano, 2018; Hunter et al., 2015). <그림 1>의 PBL 단계를 보면, 업체 계약 범위가 클수록 군은 무기체계 운용 시 보장받을 수 있는 성과 범위가 단순히 부품조달에서 임무보장까지 넓어짐을 알 수 있다.



<그림 1> PBL 성숙도 모델

한국 공군은 PBL 사업에서 자재조달 중심으로 성과지표를 적용해왔다 (표 2). 이는 <그림 1>의 PBL 적용수준 2단계에 해당하며 수리부속 보급 개선을 통한 품목 가용도에 초점을 맞춘 PBL이다. 일부 구성품의 가동률 제고, 수리부속 조달기간을 단축하여 품목 가용도를 향상시켰으나,

체계 수준의 장비가동률 향상에는 유의미한 개선이 이뤄지지 않았다(원봉연, 이상진, 2019). 즉, PBL의 근본적인 목적은 목표가동률을 유지하여 전투준비태세를 보장하는 것에 있으나(권남연, 홍록지, 강석중, 2023), 일부 PBL 사례에서 자재조달 중심의 성과지표 적용을 통해 PBL 목적 달성에 제한이 있었음을 의미한다(원봉연, 이상진, 2019).

<표 2> 한국 공군의 PBL 성과지표 적용현황

구분		가동률	SSR	불가동대수	NMCS	NORS 지원율	DRT	CWT	TOB	DSR	하자기간	
대형기	KT/A-1	1차					●		●	●		
		2차				●	●					
	T-50 계열	기체	1차				●	●		●	●	
			2차				●	●				
		엔진	1차				●	●				
			2차				●	●				
	F-15K	1차				●						
		2차				●						
	F-16 엔진	1차						●				
		2차			●	●						

미국 또한 공급망 병목현상 해소를 위한 자재조달 위주의 성과지표를 적용해왔으며 품목 가용도 향상을 이루었다. 이를 통해 초기에는 운용

장비의 목표가동률을 달성하였으나, 장기적으로도 해당 가동률을 유지할 수 있는지 의문이 제기되고 있다(Glas, 2020).

최근 국방부는 해병대 MUH-1, 해군 해상감시레이더-II 체계를 보급뿐 아니라 정비도 모두 PBL로 수행하고 있으나, 대부분의 공군 PBL 사업은 수리부속 보급에 초점이 맞춰져 있다(권남연, 홍록지, 강석중, 2023). 따라서 향후 PBL의 목적 달성을 위해서 품목 가용도 개선이 장비가동률에 유의미한 영향을 미치는지에 대한 분석이 필요하다.

본 연구의 목적은 무기체계 가동률에 있어 품목 가용도가 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션하여 분석하는 것에 있다. KF-16 전투기 엔진 정비 프로세스를 대상으로 모델링하고 수리부속 지연 정도에 따른 항공기 가동률을 Anylogic 시뮬레이션을 통해 분석하였다.



제2장 이론적 고찰

1. PBL 개념

국방, 항공, 에너지 등 산업에서 고가의 장비를 운영 및 유지관리(O&M)하며 이는 부품의 조달, 재고관리, 유지관리 등 다양한 기능을 포함한다. 대부분의 기업들은 O&M 업무를 모두 수행하기 위해 설비, 인력, 기술 등 내부 지원 시스템을 구축하는 것이 경제적으로 불가능하다. 이에 따라 기업의 O&M 업무 전체 또는 일부를 제3자 물류(3PL) 기업이나 MRO 기업에게 위탁하는 것이 증가하고 있다. O&M의 성과는 장비의 가동률과 총 소유비용에 영향을 미치기 때문에 이를 효과적으로 달성하기 위한 새로운 접근법, 즉 성과기반군수지원(PBL)이 등장하였다(Kim, Cohen, & Netessine, 2007).

기존 군과 업체 간 군수지원방식은 부품, 정비 등 재화나 서비스를 구매하는 것을 기반으로 이루어진 반면, PBL은 성과의 결과를 구매하는 것에 중점을 둔다. 예로, PBL 하에서 엔진의 유지보수는 사용된 수리부속품, 정비 등에 따라 지불되는 것이 아니라 군이 엔진을 정상적으로 사용할 수 있는 시간에 따라 지불된다(Ng, Maull, & Yip, 2009).

PBL에 대한 정의를 미 국방성은 PBL을 “계약에 의해 전투부대(사용자)는 요구한 사항을 얻고, 계약업체는 혁신을 통해 인센티브를 얻는 것”으로 하고 있다(U.S. DoD, 2016). 한국 국방부는 성과기반군수지원 훈령에서 PBL을 “군이 안정적 가동률 보장을 위해 업체와 장기계약을 체결하여 성과지표 및 목표를 제시하고, 그 성과에 따라 대가를 업체에게 차등지급하는 제도”로 정의하고 있다. 즉, PBL의 핵심은 성과이며 이를 중

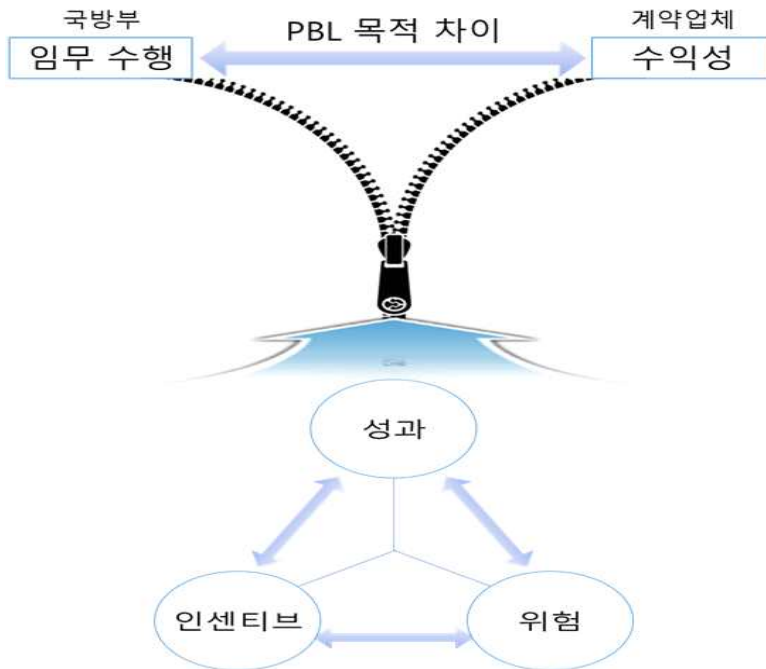
심으로 군은 업체에게 달성되어야 하는 성과를 책임으로 부여하고, 성과에 따라 인센티브 또는 불이익을 주므로(최석철, 2008) 업체의 더 나은 성과를 유인할 수 있다. 따라서 군은 정비지원요소를 업체에 맡겨 전투기능에 집중할 수 있고 업체는 성과 달성을 통해 수익을 얻을 수 있다 (Glas, Hofmann, & Eßig, 2013).



2. PBL 이론의 프레임워크

PBL을 통해 군과 업체 모두가 이익을 얻을 수 있는 이유는 두 집단이 PBL에 대해 다른 목적을 가지기 때문이다. 업체는 주로 재무 위험 감소나 수익 달성에 목적이 있는 반면, 군은 원활한 작전 임무 수행에 목적이 있다. 두 가지의 상충되는 이해 절충이 PBL의 핵심이며(Doerr, Lewis, & Eaton, 2005) 성공적인 PBL 계약설계를 위해 서비스 구매자인 군과 판매자인 업체의 요구조건이 균형을 이루어야 한다(Jacopino, 2018).

<그림 2>와 같이 Selviaridis & Wynstra(2015)는 PBL을 성과(Performance), 인센티브(Incentives), 위험(Risk) 3가지로 개념화하였으며 이들은 상호 연관되어 있다고 주장하였다. PBL에서 중요한 것은 3가지 요인을 조정하여 군이 적절한 성과지표와 목표를 지정하고 인센티브와 연결시켜 업체에게 위험을 효과적으로 이전하는 것에 있으며, 이를 통해 군과 업체가 모두 PBL 목적을 달성할 수 있다(Selviaridis & Wynstra, 2015).



<그림 2> PBL 개념 프레임워크

성과요인 측면에서 군은 PBL 목적과 연계된 성과지표를 설정해야 하며 (Falisse, Meessen, Ndayishimiyeand, & Bossuyt, 2012), 명확하고 측정 가능해야 한다. 업체는 성과 측정이 어렵거나 불확실성이 크다고 느끼면 사업 이행에 부담감과 위험을 느끼기 때문이다(Billinton & Feng, 2007). 만약 업체가 위험을 수용할 수 없는 경우, 이는 증가된 인센티브로 보상되어야 한다(Kim, Cohen, & Netessine, 2007).

인센티브는 업체가 PBL을 수행하도록 동기 부여하기 위해 성과지표와 연결된다(Chan, Lam, Chan, & Wong, 2010). 성과지표와 잘못 설계된 인센티브는 업체가 불이익을 위하기 위해 비교적 쉬운 방법을 이행하거나 부정행위를 저지르게 할 수 있으며 이는 서비스 약화 및 감시비용 증가로 이어질 수 있다(McDonald & Roland, 2009; Friedberg, Safran,

Coltin, Dresser, & Schneider, 2010; Dellarocas, 2012). 예로, 육군 PBL 사례에서 장비의 수리부속품을 대상으로 사용자 대기기간(CWT, Costumer Wait Time)은 성과목표를 달성하였으나 준수지원 만족도가 높지 않았다. 그 이유는 민감하게 활용되는 장비와 민감하게 활용되지 않는 장비를 통합하여 수리부속 사용자 대기시간을 계산한 결과, 민감한 장비의 수리부속이 신속하게 보급되지 않았기 때문이다(윤정현, 권태욱, 최경환, 2022).

또한, 인센티브의 구조와 강도는 금전적 및 비금전적 인센티브로 나뉘며, 업체 행동에 영향을 미친다(Zeng, Cros, Wright, & Shepard, 2013; Nicholas, Dimick, & Iwashyna, 2011). 금전적 인센티브는 현금으로 지불하는 것이며, 업체는 계속되는 재정적 위협으로 인해 금전적 인센티브와 성과를 완전히 연결하는 구조를 꺼리는 경우가 많다(McLellan, Kemp, Brooks, & Carise, 2008). 오히려 결과 달성 진행 상황에 대한 보상을 제공하는 구조(마일스톤 계약)를 선호하는데 업체의 현금 흐름 위협을 완화하기 때문이다(Gates et al., 2005). 또한, 비금전적 인센티브는 계약연장 등이 있으며, 업체는 단기 계약보다 장기계약으로 연장하는 비금전적 인센티브를 선호한다. 장기계약을 통해 지속적으로 성과를 개선하여 더 높은 수익을 얻을 수 있기 때문이다(Hensher & Stanley, 2008).

위와 같이 PBL에 대한 연구는 군과 업체가 목적 차이를 조율하고 달성하기 위해 성과, 인센티브, 위협 측면에서 어떻게 계약을 설계해야 하는지에 대해 다루어져 왔다. 본 연구는 3가지 요인 중 성과를 중점으로 하며, 다음 장에서 PBL 성과에 대해 설명한다.

3. 성과지표 정의와 정렬

PBL의 성과 관련 연구는 사업목표 달성을 위해 어떤 것을 성과지표로 선정하고 성과목표는 어느 수준으로 정해야 하는지, 성과 측정은 어떤 것으로 해야 하는지, 해당 성과지표의 가중치는 어느 정도로 해야 하는지 등에 대한 연구가 있다(Glas, Henne, & Essig, 2018).

국방부는 PBL 사업목표와 성과지표, 성과목표에 대해 <표 3>과 같이 정의하고 있다. 예로, 공군이 T-50 항공기 가동률 90% 달성을 위해 수리부속 보급지연으로 인한 항공기 불가동률(NMCS, Not Mission Capable Supply)을 10% 이하로 유지할 것을 요구한다고 한다. 이때, 항공기 가동률 90%가 사업목표이며 NMCS는 성과지표, 그리고 NMCS 10% 이하는 성과목표를 의미한다.

<표 3> PBL 사업목표, 성과지표, 성과목표 정의

구분	정의
사업목표	성과기반계약 적용 사업이 달성해야 하는 최종 목표이자 성과물을 말한다.
성과지표	각군, 기관 및 방위사업청의 성과기반계약 사업목표를 달성하기 위해 계약상대방의 성과기반계약 이행성과를 측정하기 위한 측정기준을 말한다.
성과목표	성과지표에 따라 계약상대방이 달성해야 할 목표를 말하며, 성과지표마다 성과목표를 정량적으로 설정하여야 한다.

성과지표는 군의 사업목표와 연결되어야 하며, 군이 요구한 성과목표와 업체가 달성한 성과 간 차이를 식별하고 계약의 시행과 효과를 추적, 측정, 평가하는 데 사용된다. 이때, 군은 사업목표를 달성하기 위해 사업목표에 영향을 주는 요인이 무엇인지 파악하고 체계, 부체계 또는 구성품

중 어느 수준에 적용할 것인지 결정해야 하는데, 이를 성과지표의 정렬이라 한다. 따라서 성과지표는 PBL 목표와 정렬되어야 하며 이를 위해 결과 중심의 성과지표에 중점을 두고 입력과 출력의 인과관계를 분석할 필요가 있다(Falisse, Meessen, Ndayishimiyeand, & Bossuyt, 2012). 여러 선행연구에서 성과지표 정렬의 중요성을 강조하고 있으며 일부 연구에서는 성공적인 PBL일수록 구매자(군)의 성과목표와 성과지표가 일치함을 주장한다(Kim, Cohen, & Netessine, 2007; Selviaridis & Wynstra, 2015; Falisse, Meessen, Ndayishimiyeand, & Bossuyt, 2012; Glas, Henne, & Essig, 2018).



4. 사업목표 및 성과지표 종류

성과기반군수지원 훈령에서 국방부가 지정한 PBL의 사업목표는 장비가동률 또는 운용가용도 증가, 운용신뢰성 증대, 군수지원반응시간 단축, 고장률 감소, 총소유비용 절감 5가지가 있다(표 4).

<표 4> PBL 사업목표의 종류

사업목표	정의
장비가동률	보유장비 대비 가동장비의 비율로, 가동장비수를 보유장비수로 나누어 계산함
운용가용도	일정기간에 무기체계가 임무를 수행하거나 가동할 수 있는 가용시간의 비율로, 가동시간의 합을 가동시간과 불가동시간의 합으로 나누어 계산함
운용신뢰성	부여된 임무를 달성하기 위하여 요구된 기능을 고장없이 수행할 확률
군수지원반응시간	군수지원소요 발생시점부터 요구사항이 만족된 시점까지의 시간
고장률	특정 시점까지 고장 나지 않고 작동하던 장비나 부품이 다음 순간에 고장 나게 될 확률
총소유비용	시스템을 수명주기 동안 획득하고 운용하는데 소요되는 비용으로, 획득비용과 운영유지비용의 합

또한, 성과기반군수지원 훈령에는 사업목표에 따른 성과지표가 정의되어 있으며, 상위지표와 그 아래의 하위지표로 구분되어 있다. 그러나 한국군의 성과지표는 세분화 되어 있지 않아 미국에서 사용하고 있는 성과지표를 활용할 필요가 있다(원봉연, 이상진, 2018). 따라서 본 연구에서는 미국의 PBL 성과지표를 사용하며, <부록 1>에 나타나 있다.

5. 공군 PBL 성과지표 적용현황

공군은 타 군에 비해 무기체계의 국산화율이 낮아 보급지원으로 인한 운용가용도 하락을 다른 요소들에 비해 많이 겪어 왔다. 따라서 PBL을 통해 조달기간 단축과 일부 구성품 가동률 제고 등 수리부속의 원활한 보급을 위한 문제를 우선적으로 해결해왔다. <표 5>는 공군이 가동률 향상을 위해 대부분의 PBL 계약에서 자재조달 중심의 성과지표를 적용해왔음을 보여준다.

<표 5> 공군 PBL 사업목표 및 지표 적용 현황

구분		1차 사업	2차 사업
KT/A-1	사업목표	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률 	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률
	적용범위	<ul style="list-style-type: none"> 기체 및 엔진 수리부속품 1,165종 	<ul style="list-style-type: none"> 기체 및 엔진 수리부속품 2,762종
	성과지표 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> DRT 85% 이상 TOB 15일 이내 DSR 85% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> NMCS 3.6% 이하 DRT 85% 이상
T-50 계열	사업목표	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률 항공기 장착 엔진 가동률 	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률 항공기 장착 엔진 가동률
	적용범위	<ul style="list-style-type: none"> 기체 수리부속품 3,387종 엔진 수리부속품 2,727종 	
	성과지표 및 목표	<p>[기체]</p> <ul style="list-style-type: none"> DRT 85% 이상 TOB 30일 이내 DSR 85% 이상 NORS 지원율 95% 이상 <p>[엔진]</p> <ul style="list-style-type: none"> 예비엔진 NMCS 25% 이하 예비APU NMCS 65% 이하 DRT 85% 이상 	<p>[기체]</p> <ul style="list-style-type: none"> NMCS 5.4% 이하 정비 DRT 평균 190일 이내 구매 DRT 85% 이상 <p>[엔진]</p> <ul style="list-style-type: none"> 예비엔진 NMCS 22% 이하 예비APU NMCS 65% 이하 정비 DRT 평균 225일 이내 구매 DRT 85% 이상
F-15K	사업목표	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률 	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 가동률
	적용범위	<ul style="list-style-type: none"> 기체 및 항전 수리부속품 1,053종 	<ul style="list-style-type: none"> 기체 및 항전 수리부속품 1,019종

	성과지표 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> NMCS 7% 이하 	<ul style="list-style-type: none"> NMCS 7% 이하
F100 엔진 (F-15K, F-16 계열 장착)	사업목표	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 장착 엔진 가동률 	<ul style="list-style-type: none"> 항공기 장착 엔진 가동률
	적용범위	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 수리부속품 4,031종 	
	성과지표 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> DRT 30일 이내 	<ul style="list-style-type: none"> 모듈별 창정비 자재대기 수량 1~3대 이하 예비엔진 불가동 대수 1~5대 이하

KT/A-1 1차 PBL은 성과지표로 인도응답시간율(DRT), 후불대기기간(TOB), 고객지원반응률(DSR)로 선정하여 운영되었다. 2012~2014년 동안 연도별 KT/A-1의 가동률과 계약업체의 성과별 평가점수는 <표 6>, PBL 적용 전후의 성과평가 결과 비교는 <표 7>과 같다(이진식, 손상균, 2016). DRT, TOB, DSR과 같이 수리부속의 조달기간 단축을 위한 목적으로 KT/A-1에 PBL을 적용한 결과, 수리부속 조달기간은 평균 156일이 단축되었으며 항공기 가동률도 3.8% 상승하였다.

<표 6> KT/A-1의 PBL 성과목표 달성치

성과지표 (목표치)	2012년	2013년	2014년
항공기 가동률	91.9%	87.9%	89.5%
DRT (85% 이상)	93%	92%	93%
TOB (15일 이내)	50일	33일	29일
DSR (85% 이상)	100%	98%	96%

<표 7> KT/A-1의 PBL 적용 전후 개선 정도

구분	PBL 전 (‘06.~‘10.)	PBL 후						비고
		‘10	‘11	‘12	‘13	‘14	평균	
항공기 가동률	86.8	93.1	90.8	91.9	87.9	89.5	90.6	3.8%↑
수리부속 획득기간	219	40	46	33	89	66	63	156일↓

그러나 가동률과 DRT, TOB, DSR과의 직접적인 인과관계를 알지 못하기 때문에 PBL의 성과가 장비가동률 향상에 기여했다고 설명하기 어렵다(원봉연, 이상진, 2018; 이진식, 손상균, 2016). 이에 따라 국방부는 가동률과 연계성 강화를 위해 수리부속 보급지연으로 인한 불가동을 계량화한 지표인 NMCS를 KT/A-1 2차 PBL 사업에 도입하였다(김경의, 2021).

T-50 계열의 1차 PBL 사업 운영분석 과정에서 DRT 측정결과에 대한 오류사항이 식별되었다. 실제 애로사항이 큰 핵심 정비품목과 다수의 저단가 구매품목이 함께 측정된 결과, DRT 결과값은 문제가 없는 것으로 나타났다. 이후 2차 사업에서는 DRT를 구매, 정비품목으로 구분하였고 가동률과 연계성을 위해 NMCS를 추가하였다(김경의, 2021).

F-15K는 미국 보잉사와 2012년부터 5년간 1차 PBL 계약을 통해 운영되었다. 사업목표는 항공기 가동률 85% 이상 달성이었으며 성과지표 및 목표는 수리부속 1,053품목에 대해 수리부속으로 인한 항공기 불가동률(NMCS) 7% 이하로 설정되었다. 그러나 <표 8>에서 F-15K는 성과목표인 NMCS 5.9%로 목표를 달성하였으나, 항공기 가동률은 83.97%로 사업목표를 달성하지 못한 것을 볼 수 있다. 그 이유는 사업계획 시 정비

로 인한 항공기 불가동률(NMCM)을 8% 수준으로 예상하였으나 정비 수요의 증가로 NMCM이 14.5%로 증가하였기 때문이다(김경의, 박근식, 엄정호, 2016). 이때, 2012년까지의 2016년의 F-15K 가동률은 군사보안으로 인해 미가입 하였다.

<표 8> F-15K의 PBL 적용 전후 개선 정도

구분	PBL 전	PBL 후					
	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	평균
NMCS	-	10.5	4.5	6.1	3.5	5.0	5.9
NMCM	12.1	11.5	16.0	16.5	14.2	14.4	14.5
가동률	84.30	00	00	00	00	00	83.97

F100 엔진 PBL 사업은 반대로 성과목표는 미달성하였으나 사업목표(항공기 장착 엔진 가동률)는 충족한 사례이다. 초기 정비에 필요한 자재 소요율을 낮게 설정한 결과, 사업초기에 지원물량을 소진하게 되었고 일부 품목의 정비자재 공급 지연이 발생하여 성과목표인 DRT 30일 이내를 충족하지 못하였다. 그럼에도 불구하고 사업목표는 달성하였으며, 이는 사업목표와 성과목표 간의 연계성에 대한 실증이 필요함을 인식하는 계기가 되었다. 따라서 2차 사업에서는 DRT를 폐지하고 예비엔진 및 모듈의 자재대기로 인한 불가동 수로 바꾸어 엔진 및 모듈에 대한 창정비 수리부속 지원 통제력을 강화하게 되었다.

주요 무기체계 가동률에 부정적인 영향을 미치는 대부분은 수리부속 재고 고갈로 인한 정비대기이다. 이 때문에 현재까지 진행된 PBL 사업은 정비는 군이 담당하고, 주요 수리부속을 보급하는 업무는 계약업체가 담당하고 있다. 공군의 PBL 사례에서 성과목표를 달성하였으나 사업목표를 달성하지 못한 사례와 반대로 성과목표는 미달성하였으나 사업목표는 달성한 사례가 있었다. 이는 성과지표와 사업목표의 연계성이 부족함을

나타내며 준수지원반응시간을 단축하여 항공기 가동률이 향상되었다는 유의미한 증거를 제시하지 못하고 있다. 이를 위해 공군은 PBL 사업을 진행하며 얻은 경험이나 통계적 추론을 통해 사업목표와 연계성이 높은 성과지표를 수정해나가고 있다(김경의, 2021). 그러나, 수리부속의 자재 대기(성과지표)와 운용가용도(사업목표) 간 검증을 위해 추가적인 인과관계 해석이 필요하다.

다음 장에서는 운용가용도의 요인이 무엇이며 각 요인들이 운용가용도에 어떤 영향을 미치는지에 대한 선행연구를 살펴본다.



제3장 선행연구 고찰

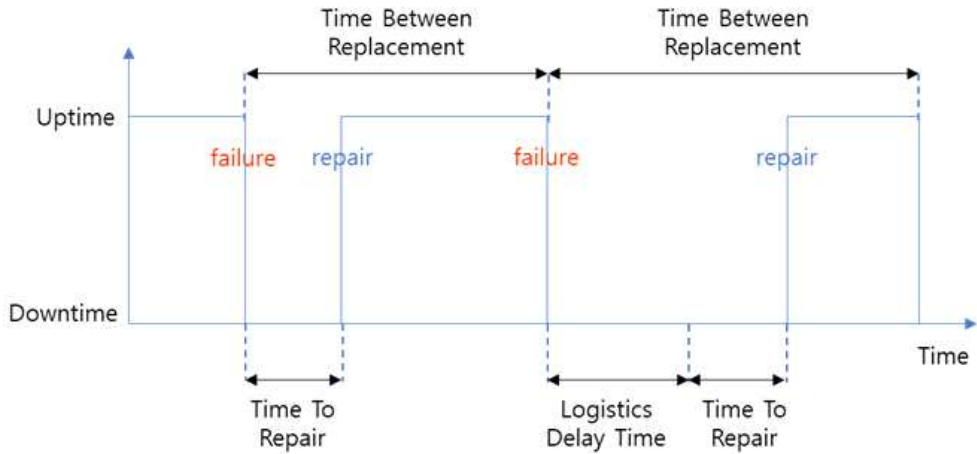
해당 장에서는 운용가용도에 영향을 주는 요인이 무엇이며, 이들 중에 어떤 요인이 운용가용도에 크게 영향을 미치는지를 분석한 선행연구들을 소개한다.

1. 운용가용도 구조

PBL의 주요 목적은 전투준비태세 보장이며 이는 무기체계 가동률 유지를 통해 달성할 수 있다. 미 국방성은 운용 가용도(Operational Availability)를 임의의 시점에서 하나의 장비가 가용할 수 있는 확률로 정의하고 있다. 운용 가용도 수식은 총 시간에 대한 운용 가용한 시간으로 나타내며 아래 식과 같다.

$$A_o = \frac{UPTIME}{UPTIME + DOWNTIME} = \frac{MTBR}{MTBR + MTTR + MLDT}$$

UPTIME은 MTBR(Mean Time Between Replacements)로 나타내며, <그림 3>에 나타나 있는 교체 이후 다음 교체까지 시간의 평균을 의미한다.



<그림 3> Uptime과 Downtime 요소

이때, MTBR은 아래 식과 같이 장비의 사용률($\beta \in [0, 1]$)과 장비의 고장률(λ)로 나타낼 수 있다(Jin, Xiang, & Cassady, 2013). 즉, 장비의 사용률 또는 고장률이 높을수록 MTBR이 감소하여 정비 횟수는 증가한다.

$$MTBR = \frac{1}{\beta\lambda}$$

DOWNTIME에서 MTTR(Mean Time To Repair)은 <그림 3>의 정비에 소요되는 시간의 평균이며 MLDT(Mean Logistics Delay Time)는 정비에 필요한 수리부속품이나 인력 등이 도착할 때까지 대기하는 시간의 평균이다.

운용가용도는 MTBR을 증가시키거나 MTTR, MLDT를 감소하여 개선될 수 있다(Jin, Xiang, & Cassady, 2013). IPS 요소 중 MTBR은 유지관리, MTTR은 정비계획 및 관리, MLDT는 보급지원에 해당하므로 운용가용도는 크게 유지관리, 정비계획 및 관리, 보급지원으로 나뉜다고 볼 수 있다. 따라서 미 국방부의 PBL 가이드북에서도 운용가용도 향상을

위한 성과지표를 <표 9>와 같이 나누어 적용하고 있다(U.S. DoD, 2016).

<표 9> PBL 성과지표 분류

구분	보급지원	정비계획 및 관리	유지관리
체계 (System)	자재불가동 (NMCS)	정비불가동 (NMCM)	신뢰도
부체계 (Sub-system)	수리부속가용성 (SMA)	평균정비시간 (MMT)	고장간평균시간 (MTBF)
구성품 (Component)	청구충족률, 후불률, 정시보급(OTD)	수리반복시간 (RTAT)	기술지원 반응시간



2. 운용가용도 영향 요인 관련 연구

운용가용도에 보급지원, 정비계획 및 관리, 유지관리 3가지의 요인이 어떤 영향을 미치는지에 대한 선행연구는 크게 수리적인 연구방법과 시뮬레이션을 활용한 연구방법으로 분류할 수 있다.

수리적인 방법은 운용가용도를 수리모형을 기반으로 모델링하여 여러 요인을 조정해가며 최적의 운용가용도를 산출하는 연구들이 있다. Hur et al.(2018)는 한정된 예산 하에 항공기 운용가용도 유지를 위해 수리부속품을 어느 정도 보유해야 하는지를 수리모형을 통해 계산하였다. 이때, 보급지원(수리부속 가용성)과 유지관리(고장 간 평균시간)를 변수로 하였을 때, 항공기의 고장 간 평균시간이 큰 경우에는 수리부속 가용성을 특정 값 이상으로 증가하여도 운용가용도에 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 따라서 예산 효율화를 위해 적정 수리부속 수를 보유해야 함을 주장하였다. Jin et al.(2013) 또한 보급지원(수리부속 가용성)과 유지관리(고장 간 평균시간)를 변수로 운용가용도에 미치는 영향을 수리모형을 통해 분석하였으며, 고장 간 평균시간이 클수록 수리부속 가용성이 운용가용도 향상에 미미한 효과를 나타낸다고 주장하였다. Hassan & Rajesh(2011)은 보급지원(수리부속 가용성), 정비계획 및 관리(평균정비시간), 유지관리(고장 간 평균시간) 3가지와 함께 운용가용도에 대한 영향을 수리모형을 통해 분석하였다. 항공기의 엔진과 프로펠러, 그리고 전자장비를 대상으로 한 결과, 재고를 늘려 수리부속 가용성을 높이는 것은 운용가용도에 영향이 상대적으로 거의 없었으며 엔진, 프로펠러와 같은 부체계의 고장 간 평균시간이나 평균정비시간을 감소시키는 것이 운용가용도 향상에 효과적이라 주장하였다.

시뮬레이션 모형을 통한 연구방법은 정비 프로세스를 모델링하고 수리

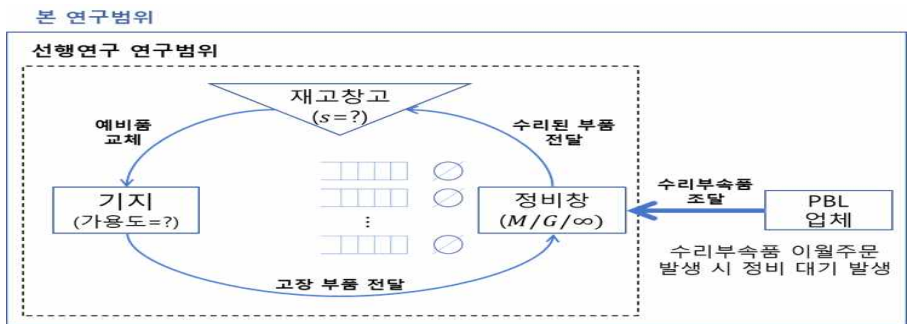
부속의 수, 정비시간 등을 변화시키며 운용가용도에 미치는 영향을 분석하는 연구들이 있다. 박세훈 외(2010)는 보급지원(수리부속 가용성)과 정비계획 및 관리(평균정비시간)를 변수로 하여 시뮬레이션을 통해 운용가용도에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 단순히 예비품 수량을 늘려 수리부속 가용성을 확보하는 것보다 정비창 수의 확대, 정비인력의 증가와 같은 정비능력 증가를 통해 평균정비시간을 줄이는 것이 운용가용도에 더 효과적임을 주장하였다. 이상진, 정병기(2009)는 보급지원, 정비계획 및 관리, 유지관리 3가지 요인을 KUH 헬기의 엔진을 대상으로 시뮬레이션을 통해 분석하였으며, 예비품의 재고를 늘려 수리부속 가용성을 개선하는 것은 운용가용도에 효과가 없다고 주장하였다. 김영석, 허장욱(2018)은 RAM 분석 시뮬레이션을 활용하여 운용가용도에 영향을 미치는 파라미터인 MTBF, MTTR, ALDT의 민감도 분석을 하였으며 행정 및 준수지연시간인 ALDT의 민감도가 가장 큼을 주장하였다. 특히, MTTR을 고정하였을 때 MTBF가 증가할수록 ALDT의 영향성이 감소되었으며, 이는 상대적으로 낮은 운용가용도에서는 ALDT의 민감도가 더 커진다고 주장하였다.

3. 기존 선행연구의 한계점

운용가용도를 주제로 한 기존의 연구들은 수리모형 또는 시뮬레이션을 통해 보급지원, 정비계획 및 관리, 유지관리 요인이 운용가용도에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 본 연구의 목적인 자재조달 관련하여 보급지원에서는 수리부속 가용성을 변수로 설정한 선행연구가 많았다. 특히, 항공기를 대상으로 한 대부분의 연구는 수리부속 가용성을 부체계 수준인 엔진 또는 엔진의 예비모듈 수를 대상으로 하였다.

그러나 공군의 PBL은 이보다 하위 체계인 엔진 모듈 내의 구성품 약 1,000~4,000품목을 대상으로 하며 원활한 수리부속 조달을 목적으로 수행되었다. 만약 수리부속품 조달이 지연된다면 정비에 대기가 발생하여 재고창고에 예비품 입고가 지연되어 운용가용도가 하락할 수 있다. 따라서 단순히 예비모듈과 같은 예비품 수량이 아닌 정비 시 수리부속품이 얼마나 원활하게 공급되는지에 따른 운용가용도를 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 <그림 4>와 같이 부체계 수준의 재고 수량을 변수로 두는 것이 아닌, PBL 업체로부터 정비창으로 수리부속품 조달이 원활한 정도에 따른 운용가용도를 살펴본다.



<그림 4> 연구범위

제4장 모델의 구성

1. 변수 설정

본 연구에서 정비창으로 수리부속품 조달의 원활한 정도가 운용가용도에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위해 여러 변수와 함께 민감도 분석을 통해 분석한다. 민감도 분석은 입력 변수에 따른 출력값의 변화를 정량적으로 분석함으로써 불확도를 파악하는 것을 의미한다. 운용가용도에 영향을 주는 요인은 4가지로 설정하였으며 다음과 같다.

첫째, PBL 계약을 통해 자재조달은 전적으로 업체의 책임으로 관리되며 MLDT은 변동한다. 이때, MLDT에 영향을 주는 핵심 요인은 정비 수요에 대한 수리부속품의 후불률(Backorder rate)이다(U.S. DoD, 2021). 수리부속품 후불률은 장비의 수리를 위해 요청한 수리부속품의 집합이며, 이는 종종 긴 대기시간을 유발한다. 따라서 후불률에 따라 MLDT은 증가하거나 감소할 수 있다. 후불률의 변동 범위는 $-50\% \sim +50\%$ 로 10% 단위로 변동시켰다.

둘째, 자재조달을 중심으로 한 PBL에서 정비는 주로 공군에서 담당하게 된다. 이때, 정비시간인 MTTR은 정비의 대기, 인력, 정비시설 등으로 인해 감소하거나 증가할 수 있으므로 MTTR을 $-50\% \sim +50\%$ 로 10% 단위로 변동시킨다.

셋째, 항공기 소티의 증가와 노후화 등으로 인해 MTBR 변화도 항공기 운용가용도에 영향을 주므로 고려하였으며, 마찬가지로 $-50\% \sim +50\%$ 의 범위에서 10%로 변동시켰다.

마지막으로 보유하고 있는 예비모듈의 수 또한 운용가용도에 영향을 미

치는 요인으로 설정하였으며, -5~+5 범위로 1개씩 증감시키며 살펴보았다. 이때, Aug는 기지에서 창정비를 실시하므로 조정하지 않았으며 나머지 4개의 모듈에 대해서만 변동시켰다.

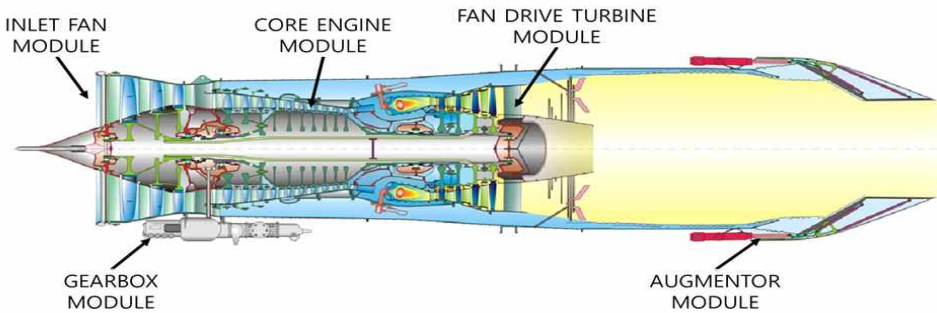
<표 10> 시뮬레이션 설정 변수 종류 및 변화범위

	후불률	MTTR	MTBR	예비모듈 수
변화범위	-50% ~ +50%	-50% ~ +50%	-50% ~ +50%	-5개 ~ +5개



2. 모델 대상

수리부속품 후불 발생으로 인한 대기가 가동률에 미치는 영향을 살펴보기 위해 KF-16 항공기의 F100-PW-229 엔진을 대상으로 하였다. 항공기 가동률에 영향을 미치는 계통은 기체, 항전, 전기 등 여러 계통이 있으나, 엔진이 미치는 영향이 가장 크기 때문이다(김진호, 이상진, 정성태, 2014). KF-16의 F100-PW-229 엔진은 5개의 모듈(Inlet Fan, Core, Augmentor, Fan Drive Turbine, Gearbox)로 구성되어 있으며 <그림 5>와 같다.

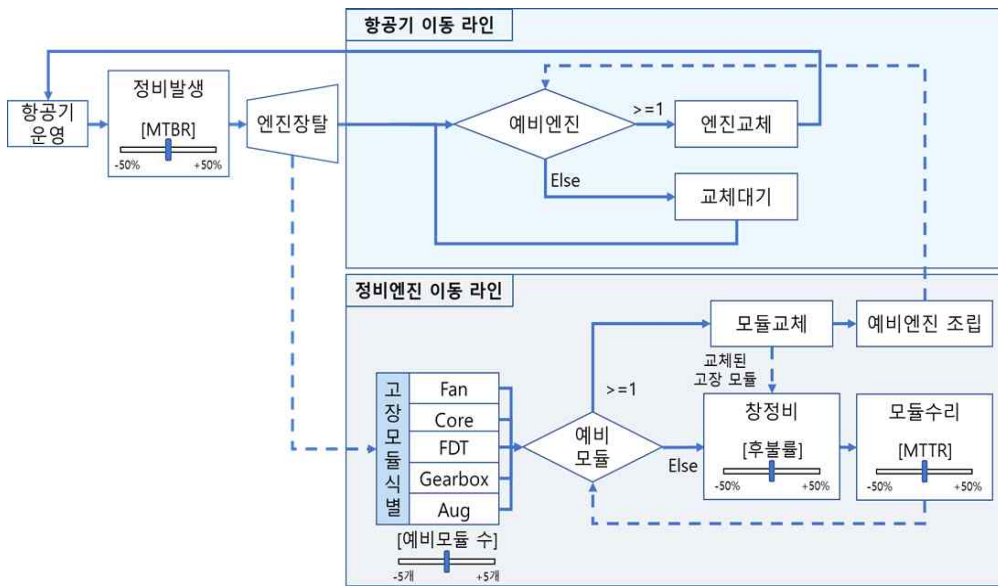


<그림 5> F100-PW-229 엔진 내부 모듈 구성

항공기 엔진 시스템 계층구조는 항공기 엔진 모듈에 해당하는 LRU(Line Replaceable Unit)와 LRU 구성품에서 분리된 부품인 SRU(Shop Replaceable Unit)로 구성된다. 항공기의 엔진 모듈은 대체로 고가이기 때문에 고장 발생 시 LRU 내의 고장 SRU를 교체하여 재사용한다. 이때, 수리부속품인 SRU 재고가 없으면 제조사에 조달 요청하며, 후불이 발생하게 된다. 본 연구에서 설정한 수리부속품의 후불은 SRU을 대상으로 하며, SRU가 도착할 때까지 정비를 대기한다.

3. 항공기 엔진 정비 프로세스

시뮬레이션 모형은 KF-16의 실제 엔진 정비 프로세스와 동일하게 설계하여 항공기의 운용가용도를 계산할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 <그림 6>과 같이 크게 항공기 이동 라인과 정비엔진 이동 라인으로 나누어 시뮬레이션 모형을 구성하였다.



<그림 6> KF-16 엔진 정비 프로세스

항공기 운영 중에 엔진 정비요소가 발생하면, 엔진은 불가동 상태가 되고 항공기에서 장탈된다. 이후 엔진이 장탈된 항공기는 항공기 이동 라인으로, 불가동 엔진은 정비엔진 이동 라인으로 이동한다.

항공기 이동 라인의 항공기는 해당 기지에서 보유하고 있는 예비엔진의 재고를 확인하여 여분이 있으면 엔진교체 이후에 정상적으로 운영된다.

만약 기지에 예비엔진이 없다면 예비엔진이 올 때까지 대기한다.

정비엔진 이동 라인으로 들어온 불가동 엔진은 5개의 모듈 중 고장 모듈을 식별하고 해당 모듈은 엔진에서 분리된다. 해당 모듈의 재고가 있으면 교체하고 예비엔진으로 조립되어 기지로 이송되며, 교체된 고장 모듈은 창으로 이송되어 창정비를 받아 예비모듈로 저장된다. 해당 모듈의 재고가 없다면 예비모듈이 올 때까지 대기하고 고장 모듈은 창으로 이동되어 창정비를 받는다. 이때, 창정비로 이송된 고장 모듈은 수리부속품이 없다면 이월주문이 발생하여 특정 기간만큼 대기 후에 창정비가 이루어진다.

해당 정비 프로세스 문제를 단순화하기 위해 본 연구에서의 몇 가지 주요 가정은 다음과 같다.

- 정비는 계획 및 비계획 창정비만 고려한다.
- 모든 모듈 및 엔진은 수리 가능 품목으로 폐기되지 않는다.
- 임무를 수행할 수 없는 항공기의 부품을 사용하지 않으며, 동류전용(Cannibalization)이 발생하지 않는다.
- 정비를 위한 자원은 충분하며 정비자원의 부족으로 인한 대기가 발생하지 않는다.
- 엔진의 고장 원인은 5가지 모듈 중 단 하나의 모듈에 기인한다.
- 항공기 엔진 및 모듈의 정비, 저장 중에는 고장이 발생하지 않는다.
- 정비 발생 시 정비창과 기지 간 이동소요시간은 고려하지 않는다.
- 정비 후 항공기 시운전은 고려하지 않는다.
- 5가지 모듈 중 Aug는 창정비가 아닌 부대에서 정비를 실시한다.

4. 입력 데이터

입력 데이터는 항공기의 엔진 교체 간 평균시간, 모듈별 정비 횟수와 정비 소요 시간, 운용 항공기 수, 예비엔진 수 그리고 예비모듈 수로 구성된다. 김진호 외(2014)의 연구에 활용된 2009년부터 2013년까지 KF-16 엔진의 실제 정비 데이터를 활용하였으며 5년간 엔진 운용시간은 229,552.31로 389건의 창정비가 수행되었다.

항공기의 엔진 교체 간 평균시간인 MTBR은 487.7일이며 총 엔진작동시간을 총 정비횟수로 나누어 구하였다. 이때, 총 엔진작동시간은 아래 식과 같이 5년간 엔진 운용시간인 229,552.31을 일일 엔진작동시간 1.21시간으로 나누어 계산하였다.

$$MTBR = \frac{\text{항공기 총 운영 일수}}{\text{항공기 총 정비 횟수}} = \frac{229,552.31(\text{시간}) \div 1.21(\text{시간/일})}{389} = 487.7(\text{일})$$

5년간 모듈별 정비 횟수와 정비 횟수 비율은 <표 11>에 나타내었다. 이는 엔진 고장 시 어떤 모듈에 의해 고장 났는지 확률적으로 모델링하기 위해 활용되며 총 모듈 정비 횟수에 대한 특정 모듈 정비 횟수로 나타낸다. 예로 엔진 정비가 요구될 때, Fan을 정비해야 할 확률은 14.66%이다. <표 12>는 모듈별 정비 소요시간이며, Aug는 기지에서 창정비를 수행하므로 자재대기시간을 모델에서 묘사하지 않는다. 마지막으로 <표 13>은 운용 항공기 수와 예비엔진, 예비모듈 수를 나타낸다.

<표 11> KF-16 엔진 모듈별 창정비 횟수 및 비율

구분	Fan	Core	FDT	Gearbox	Aug	계
계획창정비	75	83	88	45	77	368
비계획창정비	5	13	0	1	2	21
계	80 (14.66%)	96 (39.85%)	88 (19.85%)	46 (7.33%)	79 (18.32%)	389 (100.00%)

<표 12> KF-16 엔진 모듈별 창정비 소요기간

(단위 : 일(Day))

구분	Fan	Core	FDT	Gearbox	Aug
계획창정비	52+EXPO (1, 60.7)	63+WEIB (1.42, 83.1)	36+169*BE TA (0.851, 1.48, 0, 1)	22+EXPO (1, 58.8)	9+WEIB (1.23, 184, 0)
비계획창정비					
자재대기	277*BETA (0.698, 0.623, 0, 1)	21+404*BE TA (0.297, 0.443, 0, 1)	311*BETA (1.32, 1.12, 0, 1)	EXPO (1, 36.2)	-

<표 13> KF-16 항공기, 예비엔진 및 예비모듈 수

구분	Aircrafts	Engine	Fan	Core	FDT	Gearbox	Aug
항공기, 예비엔진 및 예비모듈 수	100	11	12	12	13	9	4

제5장 시뮬레이션 모델 및 결과분석

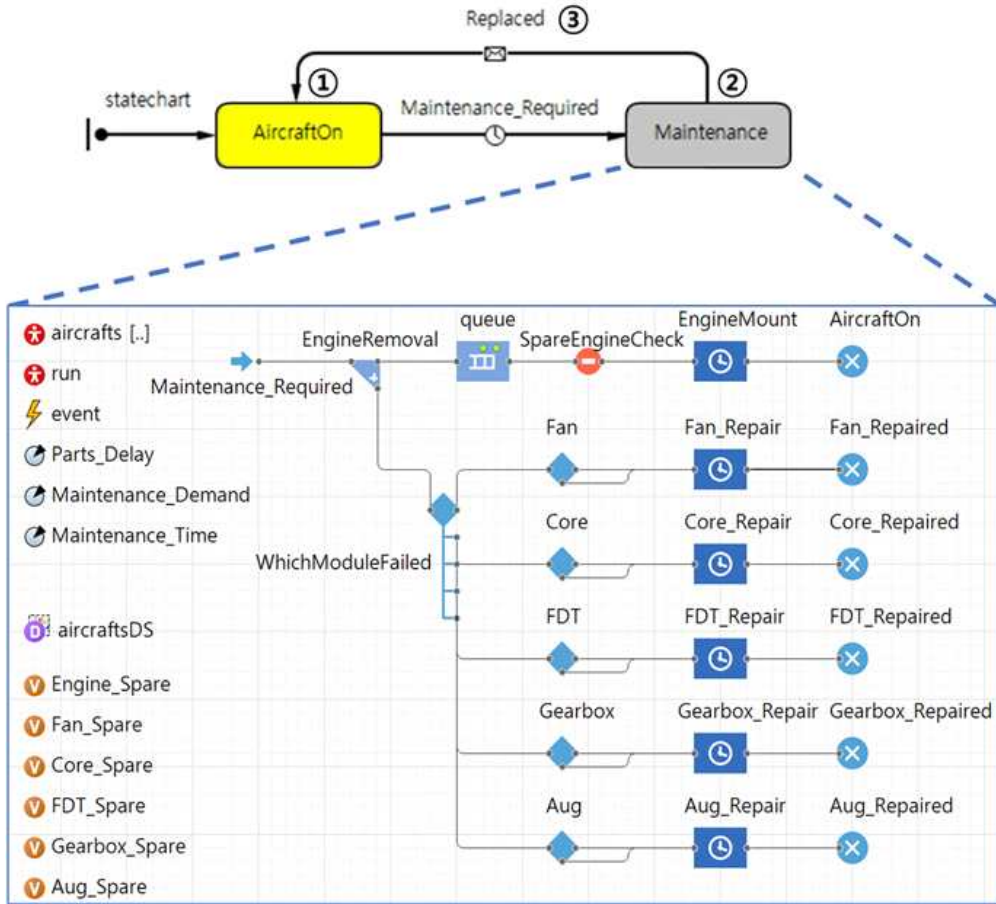
1. PBL 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 과정은 <그림 7>에 나타내었으며 크게 ①Aircraft On, ②Maintenance, ③Replaced로 순환한다. 시뮬레이션이 시작되면, ①Aircraft On 내부에 100대의 항공기가 가동되기 시작한다. 이후 설정한 MTBR 시간에 따라 고장이 발생한 항공기는 Maintenance_Required를 통해 ②Maintenance로 전환되며 Engine Removal에서 항공기의 엔진이 장탈된다.

엔진은 Which Module Failed로 이동하며 5개 중 해당하는 고장모듈로 출력되며 예비모듈 재고 여부에 따라 재고가 있으면 바로 Engine_Spare 변수에 1이 추가되고 고장모듈은 설정한 정비시간인 MTTR 만큼 시간이 지난 후 해당 모듈재고에 1이 추가된다. 만약 Which Module Failed에서 출력된 고장모듈의 재고가 없는 경우 정비된 모듈이 도착할 때까지 대기하고 있으며, 고장모듈은 마찬가지로 정비창으로 이동하여 설정한 MTTR 이후 모듈 재고에 1이 추가된다. 이때, 정비창으로 이동하여 정비를 받아야 하는 고장모듈의 수리부속품이 없다면, 후불 대기시간 이후 정비가 수행된다.

장탈된 항공기는 Spare Engine Check로 이동하여 예비엔진 여부를 확인하고 없으면 채워질 때까지 대기한다. 이후 엔진이 채워지면 Engine

Mount를 통해 엔진조립 시간 이후 Aircraft On으로 이동한다.



<그림 7> Anylogic PBL 시뮬레이션 모델

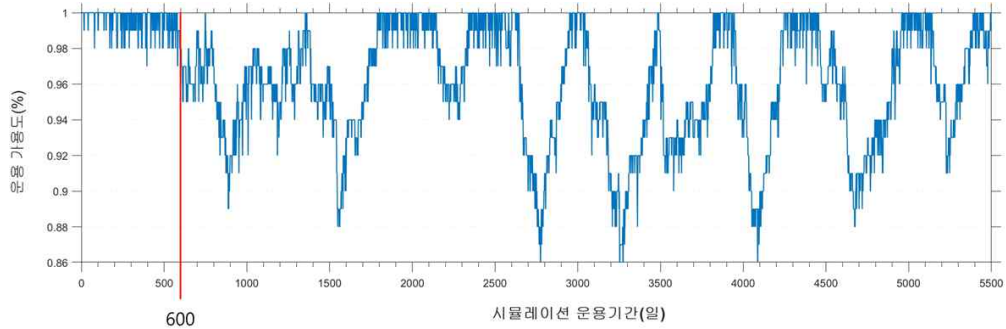
연구모형의 주요 4가지 변수는 모듈별 수리부속품 후불 감소율과 항공기 엔진의 MTBR, 모듈별 MTTR, 예비모듈의 재고수이며 각 변수에 따른 운용가용도 변화를 살펴보았다. 후불 감소율과 MTBR, MTTR은 -50%~+50%까지 10%씩 변동시켰으며, 보유 예비모듈의 수는 -5~+5까지

1씩 변동시켰다. 시뮬레이션 기간은 기간에 따른 운용가용도 변동 추세를 살펴보기 위해 5500일로 하였으며, 반복횟수는 100회로 설정하였다.



2. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 입력 데이터를 통해 도출한 시뮬레이션 결과를 살펴본다. 먼저 KF-16의 2009년부터 2013년까지의 엔진 정비 실적 자료인 <표 11>부터 <표 13>까지의 기본 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션 실행결과, 운용가용도는 평균 96.26%로 나타났으며 <그림 8>과 같다. 운용가용도가 약 600일까지는 100%에 가까우나, 그 이후로 88~100% 사이의 값을 나타내는 것을 볼 수 있다.



<그림 8> 시뮬레이션 결과(기본값)

2.1. 각 변수와 운용가용도의 관계

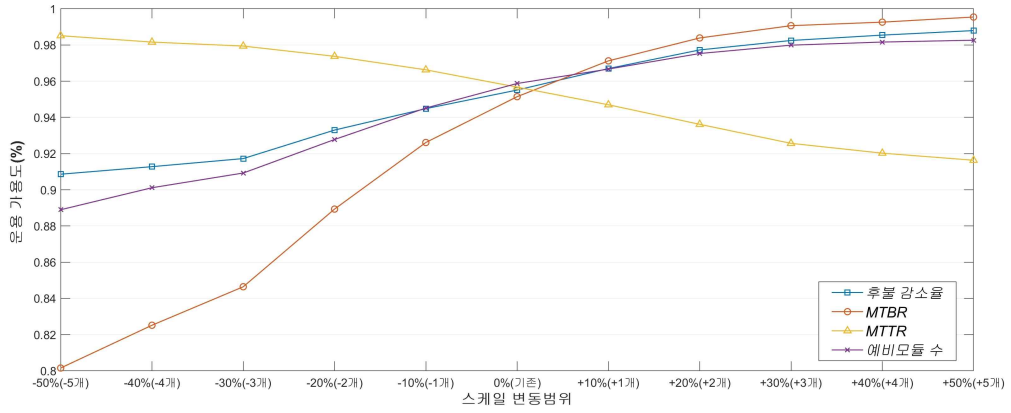
항공기 엔진의 운용가용도를 대상으로 4가지 변수인 모듈 수리부속 후불 감소율, MTBR, MTTR, 예비모듈의 수를 일정 범위 내에서 변동시켰을 때의 운용가용도 결과를 <표 14>에 나타내었으며 <그림 9>는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 이때 운용가용도는 5,500일의 시뮬레이션 기간 동안의 평균값이다.

통상적인 공군의 목표 운용가용도인 90%를 기준으로 적용하였을 때, MTBR이 변화 범위 내에서 목표 운용가용도를 달성하지 못하는 경우가 많았다. 또한, 회귀방정식의 기울기로부터 MTBR의 기울기가 0.0242로 가장 높으며 예비모듈 수, 후불 감소율, MTTR 순서로 민감도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 스케일 변동에 따른 운용가용도의 변화는 MTBR이 가장 민감하며, 운용가용도 향상을 위해 MTBR을 개선하는 것이 가장 효과적임을 나타낸다.

<표 14> 변수별 변동에 대한 운용가용도 값

구분	시간(일)	운용가용도(%)	회귀방정식
기본값	5,500	96.26	$A_o = 0.0104 * x + 0.8892$
후불 감소율	-50%	88.78	
	-40%	91.14	
	-30%	92.66	
	-20%	92.53	
	-10%	93.51	
	기본값	96.65	
	10%	97.06	
	20%	97.79	
	30%	98.47	
	40%	98.65	
	50%	99.26	

MTBR	-50%	5,500	74.82	A_o $= 0.0242 * x + 0.7772$
	-40%	5,500	79.89	
	-30%	5,500	85.76	
	-20%	5,500	89.61	
	-10%	5,500	93.15	
	기본값	5,500	96.27	
	10%	5,500	98.28	
	20%	5,500	98.41	
	30%	5,500	99.50	
	40%	5,500	99.48	
50%	5,500	99.66		
MTTR	-50%	5,500	99.10	A_o $= -0.0086 * x + 1.0053$
	-40%	5,500	98.46	
	-30%	5,500	97.98	
	-20%	5,500	97.10	
	-10%	5,500	97.06	
	기본값	5,500	96.27	
	10%	5,500	94.73	
	20%	5,500	93.20	
	30%	5,500	92.23	
	40%	5,500	91.66	
50%	5,500	91.01		
예비모듈 수	-5개	5,500	87.01	A_o $= 0.0117 * x + 0.8761$
	-4개	5,500	88.61	
	-3개	5,500	91.08	
	-2개	5,500	93.76	
	-1개	5,500	94.18	
	기본값	5,500	96.27	
	+1개	5,500	97.30	
	+2개	5,500	97.85	
	+3개	5,500	97.74	
	+4개	5,500	98.47	
+5개	5,500	98.58		



<그림 9> 변수별 변동에 대한 운용가용도 그래프



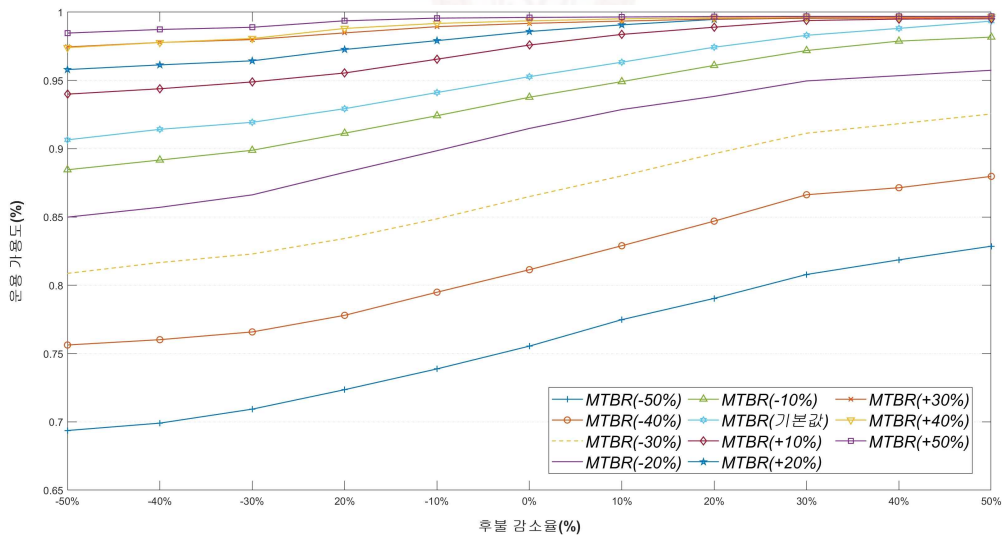
2.2. 두 가지 변수와 운용가용도의 관계

본 절에서 후불 감소율과 나머지 3가지 변수를 변동시키며 운용가용도와의 관계를 살펴본다. 3가지 변수가 변동할 때, 후불 감소율이 운용가용도에 미치는 영향 정도를 보기 위해 운용가용도의 평균 변화율을 계산하였으며, 99% 이상일 때는 변동이 거의 없기 때문에 평균 변화율 계산시 99% 미만의 운용가용도만을 고려하였다.

<표 15>는 MTTR과 예비모듈의 수를 기본값으로 고정한 상태에서 후불 감소율과 MTBR을 변동시켰을 때의 운용가용도 값을 나타내며 <그림 10>은 이를 그래프로 나타낸 것이다. 후불 감소율에 따른 운용가용도의 평균 변화율을 보면 MTBR이 증가할수록 후불 감소율에 대한 운용가용도의 변화가 작은 것을 볼 수 있다. 이는 상대적으로 비행 소티가 적거나 비계획정비 발생이 거의 없는 등의 이유로 정비 수요가 높지 않을 때 수리부속품의 후불률을 낮추어도 운용가용도 향상이 미미함을 의미한다. 그러나 이와 반대로, 비행 소티가 많거나 비계획정비가 잦을 때 PBL을 통해 후불률을 감소시키면 운용가용도 향상에 효과가 있음을 의미한다.

<표 15> 후불 감소율과 MTBR에 따른 운용가용도

MTBR (%)	후불 감소율(%)											평균 변화율
	-50	-40	-30	-20	-10	기본값	10	20	30	40	50	
-50	68.7	68.9	70.5	71.5	75	75.8	76.5	78.9	81.2	82.8	84.6	1.75
-40	74.4	76.1	76.4	77.2	78.9	80.4	84.6	84.6	86	87.9	90.1	1.59
-30	79.9	81.2	81.5	84	84.8	85.6	88.4	89.7	91.6	92.9	93.1	1.44
-20	83.5	85.5	86	87.9	90.3	91.7	93.4	94.2	94.8	95.1	97.4	1.36
-10	87.1	88	90.2	91.3	92.7	93.4	94.4	97	97	98.7	98.8	1.29
기본값	90.2	90.4	91.4	93.7	94	95.2	96.3	97.2	99	99.5	99.5	1.07
+10	93.8	93.9	94.2	95.6	96.9	97.1	99	99.4	99.5	99.5	99.5	0.77
+20	95	96.2	96.2	97.2	97.6	99.1	99.4	99.6	99.6	99.6	99.6	0.62
+30	97	97.1	98.3	98.8	98.8	99.4	99.4	99.5	99.6	99.6	99.6	0.65
+40	97.6	97.8	98.7	98.9	99.3	99.4	99.6	99.6	99.6	99.7	99.7	0.20
+50	98.3	98.7	99.4	99.5	99.5	99.6	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7	0.30

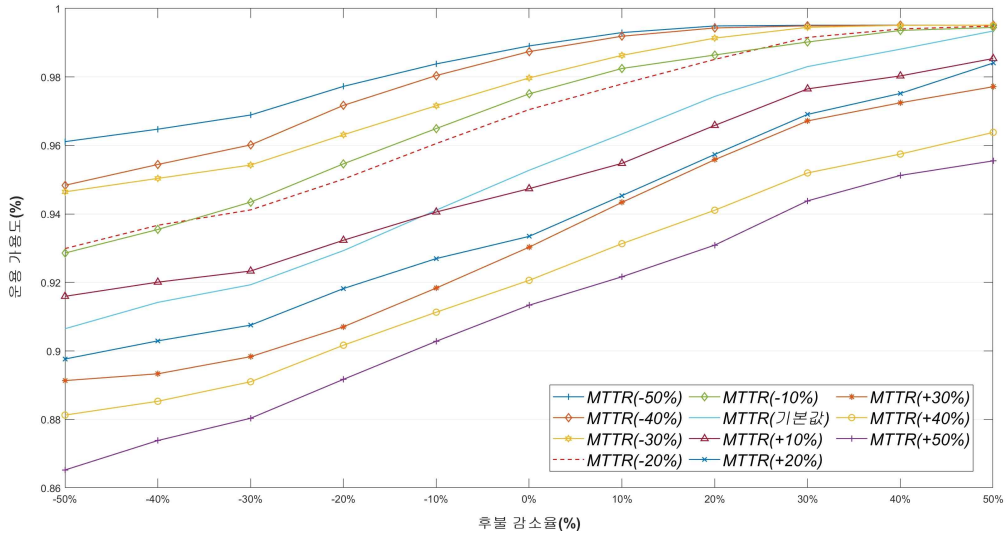


<그림 10> 후불 감소율과 MTBR에 따른 운용가용도

<표 16>은 MTBR과 예비모듈의 수를 기본값으로 고정한 상태에서 후불 감소율과 MTTR을 변동시켰을 때의 운용가용도 값을 나타내며 <그림 11>은 이를 그래프로 나타낸 것이다. 평균 변화율을 보면 약 0.8~1.2 사이의 값을 나타내며 MTTR 변화에 따라 평균 변화율의 차이가 크게 없음을 알 수 있다. 이는 MTTR이 변화할 때 후불 감소율의 운용가용도에 대한 민감도가 일정하다고 볼 수 있으며, 정비인력이나 시설 등을 확충하여 정비시간을 줄인다고 해서 후불률 감소가 운용가용도에 미치는 영향을 달라지지 않음을 보여준다.

<표 16> 후불 감소율과 MTTR에 따른 운용가용도

MTTR (%)	후불 감소율(%)											평균 변화율	
	-50	-40	-30	-20	-10	기본값	10	20	30	40	50		
-50	95.2	96.2	96.9	97.6	98.5	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	0.80
-40	93.4	95.1	96	97.3	98.3	99.2	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	1.20
-30	93.5	95	95.4	96.2	97	97.9	99.2	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	0.82
-20	91.8	93	94.2	95.7	95.9	96.3	98.2	99.1	99.4	99.5	99.5	99.5	0.98
-10	92	92.5	94	95.6	97.5	97.6	97.7	99.1	99.3	99.5	99.5	99.5	1.10
기본값	90.2	90.4	91.4	93.7	94	95.2	96.3	97.2	99	99.5	99.5	99.5	1.07
+10	89.7	92	93.1	93.2	93.6	94.2	96.1	96.5	96.9	99.2	99.5	99.5	0.82
+20	87.6	90.1	91.6	91.9	92.6	92.9	94.5	94.9	97.8	98.6	98.8	98.8	1.03
+30	88.6	88.9	89.9	89.9	91.8	92.9	94.6	95.8	96.5	98.1	98.6	98.6	1.11
+40	87	88.2	89.2	89.7	91.4	92.3	93	93.8	95.1	96.3	97.8	97.8	1.04
+50	85.1	85.9	88.6	89.5	90.6	90.8	91.4	93.9	94.1	95.3	97.3	97.3	1.13

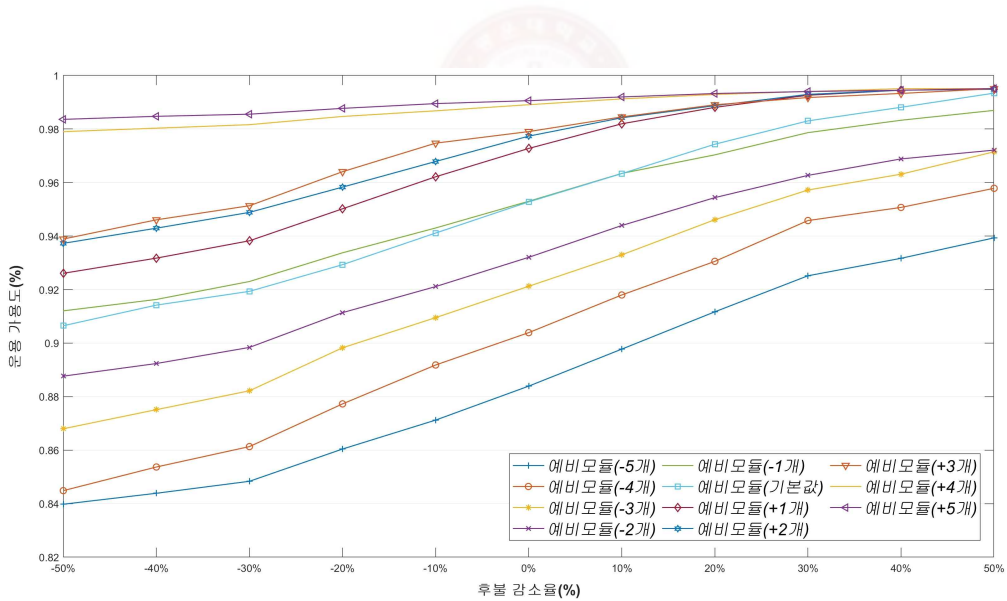


<그림 11> 후불 감소율과 MTTR에 따른 운영가용도

<표 17>은 MTBR과 MTTR을 기본값으로 고정한 상태에서 후불 감소율과 예비모듈 수를 변동시켰을 때의 운영가용도 값을 나타내며 <그림 12>는 이를 그래프로 나타낸 것이다. MTTR의 결과와 유사하게 예비모듈 수 변화에 따른 평균 변화율은 1 내외에서 크게 변하지 않다. 이는 예비모듈의 보유 수가 후불률과 운영가용도 사이의 관계에 미치는 영향이 미미함을 의미한다.

<표 17> 후불 감소율과 예비모델 수에 따른 운용가용도

예비 모델수 (개)	후불 감소율(%)											평균 변화율
	-50	-40	-30	-20	-10	기본값	10	20	30	40	50	
-5	82.9	84.5	84.5	85.6	86.6	88.9	89.9	90.9	92.5	93.6	95.7	1.26
-4	81.2	85.4	86.9	88	89.2	89.2	92.6	92.9	95.1	95.5	96.8	1.46
-3	84.7	87.7	87.9	89.7	91	92.8	93.4	93.8	95.5	97.6	98.3	1.28
-2	86.9	88.9	90.4	90.7	92.2	93.4	93.8	95.9	96.6	97.5	97.6	1.08
-1	90	91.4	92.2	92.9	95	95.4	96	97.2	98.1	98.5	99.5	1.00
기본값	90.2	90.4	91.4	93.7	94	95.2	96.3	97.2	99	99.5	99.5	1.07
+1	91.3	92.5	94	94.9	96.4	97.2	98.5	99.3	99.5	99.5	99.5	1.19
+2	92.7	93.9	94.6	96	97.2	97.4	98.7	99.4	99.4	99.5	99.5	0.99
+3	91.8	93.2	96.6	96.8	97.2	98.2	98.6	98.8	99.5	99.5	99.5	1.26
+4	97.4	97.9	98.4	98.4	98.7	99	99	99.5	99.5	99.5	99.5	0.35
+5	98	98.3	98.7	98.8	98.9	99.1	99.2	99.3	99.5	99.5	99.5	0.30



<그림 12> 후불 감소율과 예비모델 수에 따른 운용가용도

제6장 결론

최신 무기체계의 첨단화, 복잡화 속에서 군수여건은 부품 공급망 교란, 군 내 정비인력의 축소 등 불안정성이 지속 증가하고 있다. 이런 환경에서 성과기반군수지원(PBL) 사업은 군이 군수지원업무 일부를 업체에게 위탁하여 운용가용도 향상 등을 사업목적으로 2010년 국내에서 시작되었다. 주로 장비의 수리부속품의 원활한 보급을 위해 자재조달 중심의 성과지표를 적용하였으며 그 결과, 군수지연시간의 단축과 재고비용의 절감 등의 성과가 있었다. 그러나 자재조달만의 개선이 PBL의 근본적 목적인 운용가용도 향상에 큰 기여를 하지 못하고 있음을 보였으며, 이는 PBL을 처음 도입하여 시행해 온 미국에서도 발생하였다.

이에 본 연구는 먼저 자재조달에 가장 큰 영향을 주는 수리부속품의 후불률을 포함하여 MTBR, MTTR, 예비모듈 수가 항공기 운용가용도에 얼마나 영향을 미치는지를 알아보았다. 또한, PBL 계약을 통해 업체가 수리부속품의 후불률을 감소시켰을 때, MTBR, MTTR, 예비모듈 수에 따라 운용가용도 향상에 어느 정도 효과가 있는지 anylogic 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

첫째, MTBR이 높을수록 후불률을 감소시켜도 운용가용도 향상에 미치는 영향이 적었다. 이는 정비 수요가 적을 때 보다는 많을 때 수리부속품 후불률을 개선하는 것이 운용가용도 향상에 효과적임을 의미한다. 예로, 예상치 못한 고장이 잦은 무기체계 전력화 초기나 노후화로 인해 잦은 정비가 요구되는 무기체계 운용 말, 그리고 항공기 훈련 증가 시에 자재조달 관련 성과지표를 적용하는 것이 운용가용도 향상을 더 달성할 수 있다.

둘째, MTTR은 대체적으로 후불률과 운용가용도와의 관계에 무관함을 보였다. 이는 정비창의 확대, 정비인력의 확충 등을 통해 MTTR을 줄여도 후불률이 운용가용도에 큰 영향을 미치지 않다는 것을 의미한다.

셋째, 예비모듈 수 또한 대체로 후불률과 운용가용도와의 관계에 무관함을 보였다. 보유하고 있는 예비모듈 수가 많거나 적은 경우 모두 후불률 감소과 운용가용도 사이의 관계에 주는 영향이 없음을 알 수 있었다.

결과적으로 3개의 변수인 MTBR, MTTR, 예비모듈 수 중에 증감에 따라 운용가용도에 후불 감소율이 민감한 정도를 가장 잘 나타내는 변수는 MTBR이었다. 따라서 향후 자재 대기 관련 성과지표를 적용할 때, MTBR을 고려할 필요가 있다.

해당 결과는 주로 경험적, 전문가 의견에 기반하여 성과지표를 수정해 온 공군이 향후 PBL을 통한 운용가용도 향상 전략 수립에 기여할 수 있는 점에서 연구 의의를 찾을 수 있다. 그러나 본 연구는 동류전용, 항공기 시운전 등 현실에서 발생하는 여러 조건을 고려하지 않았다. 따라서 향후 현실적인 항공기 정비 프로세스를 고려하여 정교한 모델링을 통해 시뮬레이션 분석이 요구된다.

<부록 1> 성과지표 종류

표 부록 1-1. 운용가용성(Operational Availability) 및 관련 성과지표

명칭	약어	정의
운용가용성 Operational Availability	A_O	시스템 혹은 시스템 그룹이 할당된 임무를 수행할 수 있는 시간의 비율 $A_O = \text{Uptime} \div (\text{Uptime} + \text{Downtime})$
임무준비태세 Ready for Tasking	RFT	할당된 임무 수행을 위한 자산의 능력
소티 창출율 Sortie Generation Rate	SGR	주어진 기간 동안 항공기 당 출격 횟수 $\text{SGR} = \text{기간당 총 출격 횟수} \div \text{항공기 대수}$

표 부록 1-2. 물자가용성(Material Availability) 및 관련 성과지표

명칭	약어	정의
물자가용성 Materiel Availability	A_M	물자 상태에 기반하여 주어진 임무수행 가능한 시스템의 총재고 비율 $A_M = \text{운용가능한 단위 품목} \div \text{총 재고 수량}$
불가동률 Non-Mission Capable Rate	NMC	임무수행 불가 자산항목의 비율 $\text{NMC} = \text{임무수행 불가 자산항목} \div \text{총 자산항목}$
자재불가동 Non-Mission Capable Supply	NMCS	부품 부족으로 인한 임무수행 불가 자산항목 비율 $\text{NMCS} = \text{부품부족 임무수행 불가 자산항목} \div \text{총 자산항목}$
정비불가동 Non-Mission Capable Maintenance	NMCM	계획/비계획정비로 인한 임무수행 불가 자산항목 비율 $\text{NMCM} = \text{정비로 임무수행 불가 자산항목} \div \text{총 자산항목}$

표 부록 1-3. 신뢰성(Material Availability) 및 관련 성과지표

명칭	약어	정의
신뢰성 Reliability	R	특정 상태에서 특정 기간 사이에 시스템이 결함 없이 작동할 확률.
평균교체시간 Mean Time Between Removal	MTBR	계획/비계획 정비를 위해 장착된 서브시스템 혹은 구성품이 유지되는 평균시간간격을 나타내는 척도 MTBR = 총 작동시간 ÷ 해당 기간 총 장탈 횟수
고장간평균시간 Mean Time Between Failure	MTBF	해당 품목의 기능적 수명으로 결함이 발생하는 평균시간간격을 나타내는 척도 MTBF = 총 작동시간 ÷ 해당 기간 총 결함 횟수
평균정비시간 Mean Time Between Maintenance	MTBM	수리와 예방을 위한 정비 실행의 평균시간간격을 나타내는 척도 MTBM = 총 작동시간 ÷ 해당 기간 총 정비 횟수

표 부록 1-4. 총소유비용(Ownership Cost) 및 관련 성과지표

명칭	약어	정의
소유비용 Ownership Cost		총 자산유지 비용
운영당비용 Cost per Unit of Operation		총 운영비용을 해당 시스템에 대한 적절한 측정단위로 나눈 값. 시스템에 따라 측정단위는 비행시간, 발사, 작동거리 등이 될 수 있음.
운영시간당비용 O&S Cost per Operation Hour		운영유지에 소요되는 모든 비용을 시스템 운영 시간으로 나눈 값. 운영시간을 대신하여 거리, 주기, 횟수 등을 사용할 수 있음.
운영시간당정비비용 Maintenance Cost per Operating Hour		정비와 관련된 모든 비용을 시스템 운영 시간으로 나눈 값. 운영시간을 대신하여 거리, 주기, 횟수 등을 사용할 수 있음.

표 부록 1-5. 평균불가동시간(MDT) 및 관련 성과지표

명칭	약어	정의
평균불가동시간 Mean Down Time	MDT	자산을 완전작전가능 상태로 복원하는데 필요한 평균 총가동중지 시간. 정비보고 시간, 군수지원 및 물자조달 등의 관리 시간 포함. MDT = (예방정비시간+고장정비시간+군수지원시간) ÷ 총결함수
일반 General		
군수반응시간 Logistics Response Time	LRT	고객이 요청한 날짜부터 주문된 자재를 받는 날짜까지 경과한 시간
순환시간 Turnaround Time	TAT	대응조치가 시작된 시기부터 완료된 시기까지 경과한 시간 평균 TAT = 총수리시간 ÷ 수리작업 건수
군수지원시간 Logistics Time	LDT	정비 수행에 필요한 자원의 지원 지연으로 인한 불가동 시간. 자원은 예비부품, 점검, 시험장비, 숙련된 인력, 정비설 등임.
군수지원소요 Logistics Footprint		시스템을 전개, 유지, 이동하기 위해 필요한 정부/계약자 규모 또는 배치된 군수지원의 존재. 측정요소는 재고/장비, 인력, 시설, 수송자산, 부동산 등임.
정비/수리 Maintenance/Repair		
평균정비시간 Mean Maintenance Time	MMT	예방 및 고장 정비 측면에서의 정비성에 대한 척도
평균수리시간 Mean Time to Repair	MTTR	특정 기간동안의 총고장정비 시간을 총고장정비 횟수로 나눈 값
수리완료시간 Repair Turnaround Time	RTAT	수리 시작부터 완료까지 경과시간
수리순환시간 Repair Cycle Time	RCT	결함부품을 수령하여 사용가능 상태로 수리 완료될 때까지 경과시간
보급 Supply		
충족율 Fill Rate		주문 확인 24시간 이내에 공급자가 발송하는 Ship-from-Stock 비율. 편의상 이 기준은 제공자가 담당하는 부분으로써 24시간 이내에 업무를 완료할 수 있게 됨.

사용자대기시간 Customer Wait Time - NMCS	CWT	부품의 영향으로 정비를 지연시켜 시스템이 작동 불가능한 시간
군수반응시간 Logistics Response Time	LRT	고객이 요청한 날짜부터 주문된 자재를 받는 날짜까지 경과한 시간
생산중간시간 Production Lead Time		제조자의 물자 주문부터 인계까지 경과한 시간
조달중간시간 Procurement Lead Time		부품 수요 요청으로부터 이를 제조자에게 인계 받을 때까지 경과시간
자재대기불가동 Mission-Impaired Capability Awaiting Parts	MICAP	하나 이상의 수리부품 혹은 예비품 부족으로 인해 완전한 임무 수행이 불가능한 자산 항목의 현황
후불률 Back Order Rate		요청한 시점에 재고 부족한 무기체계/단위부품의 수리/예비부품의 수를 총 부품 수요로 나눈 값
후불경과시간 Back Order Duration Time		재고 부족의 예비품 요청으로부터 주문한 예비부품 인계까지 경과한 평균시간



참고문헌

- [1] A. Glas, E. Hofmann and M. Eßig, “Performance based logistics: a portfolio for contracting military supply,” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 43, No. 2, pp. 97–115, 2013.
- [2] A. H. Glas, “Case Studies of Performance Based Logistics in the Military: International Lessons Learned,” *Necesse*, vol. 5, no. 3, pp. 99–117, 2020.
- [3] A. H. Glas, F. U. Henne and M. Essig, “Missing performance management and measurement aspects in performance-based contracting: A systematic process-based literature analysis of an astonishing research gap,” *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 38, No. 11, pp. 2062–2095, 2018.
- [4] A. Hunter, M. Riley, G. Sanders, J. Ellman, R. Crotty and M. Doherty, “Performance Based Logistics,” 2015.
- [5] A. Jacopino, “Mastering Performance Based Contracts: From Why to What to How,” CreateSpace Independent Publishing Platform, Seattle, 2018.
- [6] A. T. McLellan, J. Kemp, A. Brooks and D. Carise, “Improving public addiction treatment through performance contracting: The Delaware experiment,” *Health policy*, Vol. 87, No. 3, pp. 296–308, 2008.
- [7] C. Dellarocas, “Double marginalization in performance-based advertising: Implications and solutions,” *Management Science*, Vol. 58, No. 6, pp. 1178–1195, 2012.
- [8] D. A. Hensher and J. Stanley, “Transacting under a performance-based contract: The role of negotiation and competitive tendering,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 42, No. 9, pp. 1143–1151, 2008.
- [9] D. W. Chan, P. T. Lam, A. P. Chan and J. M. Wong, “Achieving better

- performance through target cost contracts: The tale of an underground railway station modification project,” *Facilities*, Vol. 28, No. 5-6, pp. 261-277, 2010.
- [10] I. C. Ng, R. Maull and N. Yip, “Outcome-based contracts as a driver for systems thinking and service-dominant logic in service science: Evidence from the defence industry,” *European management journal*, Vol. 27, No. 6, pp. 377-387, 2009.
- [11] J. B. Falisse, B. Meessen, J. Ndayishimiye and M. Bossuyt, “Community Participation and Voice Mechanisms under Performance-based Financing Schemes in Burundi,” *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 17, No. 5, pp. 674 - 682, 2012.
- [12] J. Boyce and A. Banghart, “Performance based logistics and project proof point,” *Defense AT&L: Product Support Issue*, vol. 41, no. 2, pp. 26-30, 2012.
- [13] K. Doerr, I. Lewis and D. R. Eaton, “Measurement issues in performance-based logistics,” *Journal of Public Procurement*, Vol. 5, No. 2, pp. 164-186, 2005.
- [14] K. Selviaridis and F. Wynstra, “Performance-based contracting: a literature review and future research directions,” *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 12, pp. 3505-3540, 2015.
- [15] L. B. Gates, S. W. Klein, S. H. Akabas, R. Myers, M. Schawager and J. Kaelin-Kee, “Outcomes-based funding for vocational services and employment of people with mental health conditions,” *Psychiatric Services*, Vol. 56, No. 11, pp. 1429-1435, 2005.
- [16] L. H. Nicholas, J. B. Dimick and T. J. Iwashyna, “Do hospitals alter patient care effort allocations under pay for performance?,” *Health services research*, Vol. 46, No. 1, pp. 61-81, 2011.

- [17] M. W. Friedberg, D. G. Safran, K. Coltin, M. Dresser and E. C. Schneider, “Paying for performance in primary care: potential impact on practices and disparities,” *Health Affairs*, Vol. 29, No. 5, pp. 926–932, 2010.
- [18] R. Billinton and Z. Feng, “Distribution system reliability risk assessment using historical utility data,” *Electric Power Components and Systems*, Vol. 35, No. 6, pp. 693–713, 2007.
- [19] R. McDonald and M. Roland, “Pay for performance in primary care in England and California: comparison of unintended consequences,” *The Annals of Family Medicine*, Vol. 7, No. 2, pp. 121–127, 2009.
- [20] S. H. Kim, M. A. Cohen and S. Netessine, “Performance contracting in after-sales service supply chains,” *Management science*, Vol. 53, No. 12, pp. 1843–1858, 2007.
- [21] T. Jin, Y. Xiang and R. Cassady, “Understanding operational availability in performance-based logistics and maintenance services,” 2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Orlando, FL, USA, pp. 1–6, 2013.
- [22] U.S. Department of Defense, “PBL GUIDE BOOK: A Guide to Developing Performance based Arrangements,” 2016.
- [23] U.S. Department of Defense, “Supply Chain Metrics Guide,” 3rd edition, 2016.
- [24] W. Lucyshyn and J. Rigilano, “An evaluation of mature performance based logistics programs,” Acquisition Research Program, 2018.
- [25] W. Zeng, M. Cros, K. D. Wright and D. S. Shepard, “Impact of performance-based financing on primary health care services in Haiti,” *Health policy and planning*, Vol. 28, No. 6, pp. 596–605, 2013.
- [26] 국회예산정책처, “2023년도 예산안 총괄 분석Ⅱ”, 서울, 2022.

- [27] 권남연, 홍록지 and 강석중, “가동률과 연계한 성과기반군수지원 비용 분석 방안: 수리부속 관련 비용을 중심으로,” 국방정책연구, vol. 39, no. 2, pp. 187-214, 2023.
- [28] 김경의, “공군 성과기반군수지원(PBL) 사업의 성과지표에 관한 실증분석 연구,” 대전대학교 박사논문, 2021.
- [29] 김경의, 박근식 and 엄정호, “F-15K 사례분석을 통한 성과기반군수지원 (PBL) 발전방안 연구,” 대전대학교 사회과학연구소, vol. 38, no. 2, pp. 121-148, 2016.
- [30] 김진호, 이상진 and 정성태, “항공기 예비엔진 및 모듈 재고수준이 전시 운용가용도에 미치는 영향,” 경영과학, vol. 31, no. 2, pp. 33-48, 2014.
- [31] 원봉연, 이상진, “성과기반군수(PBL) 문헌연구 및 적용실태 분석을 통한 발전방향 연구,” 한국방위산업학회지, vol. 25, no. 3, pp. 65-82, 2018.
- [32] 원봉연, 이상진, “시물레이션과 메타 모델을 이용한 한국군 성과기반군수 연구,” 한국시물레이션학회논문지, vol. 28, no. 1, pp. 81-91, 2019.
- [33] 윤정현, 권태욱 and 최경환, “4차 산업혁명 시대의 효율적인 성과기반 군수 지원 관리방안 연구: 한국군 사례,” 선진국방연구, Vol. 5, No. 2, pp. 107-134, 2022.
- [34] 이진식, 손상균, “성과기반군수지원(PBL) 계약의 전략적 운영 방안,” 국방과학기술, 446, pp. 44-61, 2016.
- [35] 최석철, “성과기반군수(PBL)를 활용한 군수지원 발전방안 연구,” 한국국방경영분석학회지, vol. 34, no. 2, pp. 43-61, 2008.
- [36] 한국개발연구원, “2014~2018 국가 재정운용계획 국방분야”, 세종, 2018.