



Received: 2026/05/12
Revised: 2026/05/24
Accepted: 2026/06/20
Published: 2026/06/30

*Corresponding Author:

Kyungwon Oh

70, Hannam-ro, Daedeok-gu, Daejeon,
Republic of Korea

Tel: +82-42-629-8278

E-mail: kwoh@defense.ac.kr

유·무인복합전투체계 총수명주기관리 적용 방안 연구: SUCA, MUCCA 중심으로

Abstract

본 연구는 유·무인복합전투체계의 안정적 운용을 위해 다중 슬롯 정비 개념 기반의 총수명주기관리 적용방안을 제시한다. 연구 결과, 제한적 재사용·소모성을 갖는 전투기협업무인항공기에는 2단계 정비체계, 저장 신뢰성 관리, 반복 획득 기반의 순환형 운영유지가 적합한 것으로 분석되었다. 반면 반복 운용과 회수를 전제로 하는 전투기협업무인전투기에는 성과기반군수지원과 운용·예비·저장 상태를 순환하는 동적 자산관리체계가 요구된다. 본 연구는 두 공중 무인비행체의 운용특성에 맞는 차별적 총수명주기관리 방향을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

In this study, we propose an application approach for Total Life Cycle System Management (TLCSM) based on the multi-slot maintenance concept to support the stable operation of manned-unmanned teaming. The results indicate that a circular sustainment structure based on a two-level maintenance system, storage reliability management, and recurring acquisition is suitable for small unmanned collaborative aircraft, which is characterized by limited reusability and expendable operation. In contrast, medium unmanned collaborative combat aircraft, which is based on repeated operation and recovery, requires performance-based logistics and a dynamic asset management system that circulates among operational, reserve, and storage states. This study is meaningful in that it presents a differentiated TLCSM direction reflecting the operational characteristics of the two systems.

Keywords

유·무인복합전투체계(MUM-T),
전투기협업다목적무인항공기(SUCA),
전투기협업무인전투기(MUCCA),
2단계 정비체계(Two-Level Maintenance)

Acknowledgement

본 연구는 2025~2026년 공군본부의 지원으로 수행된 「공중 무인체계 총수명주기관리방안 연구」의 연구성과 일부를 포함하고 있다. 또한 연구과정에서 한남대학교로부터 학술적 지원을 받았다. 본 연구가 원활히 수행될 수 있도록 지원해 준 공군본부와 한남대학교에 깊이 감사드린다.

A Study on the Application of Total Life Cycle System Management for Manned-Unmanned Teaming: Focused on SUCA and MUCCA

정진은¹, 김우현², 조환정³, 오경원⁴*

¹LIG넥스원 미사일시스템사업부 수석매니저

²국립 군산대학교 기계공학부 교수

³국방대학교 국방과학학부 교수

⁴한남대학교 기계공학과 교수

Jin Eun Jeong¹, Woo Hyun Kim², Hwanjeong Cho³, Kyungwon Oh⁴*

¹Chief manager, Department of Missile Systems Business, LIG Defense&Aerospace

²Professor, Mechanical Engineering, Kunsan National University

³Professor, Department of Defense Science, Korea National Defense University

⁴Professor, Mechanical Engineering, Hannam University

1. 서론

유·무인복합전투체계(MUM-T, manned unmanned teaming)는 공통 목표를 추구하는 유인 및 무인 팀 간에 형성되는 관계를 의미한다. 이러한 팀밍 관계는 항공운용, 체계 및 센서 관리, 임무관리 기능을 기반으로 유인전투기와 공중 무인비행체가 실시간 데이터링크(datalink) 및 인공지능(AI, artificial intelligence) 기반 협업체계를 통해 하나의 전투팀으로 통합 운용되는 방식으로 나타난다[1].

유인전투기는 함정, 전차 등과 같이 전장에서 운용자의 탑승을 전제로 하는 체계로서, 전술적·전략적 판단, 목표의 식별 및 지정, 그리고 복합 임무수행 과정에서 요구되는 인간 중심의 인지·판단·결심 기능을 담당한다[2]. 무인체계는 무인항공기, 무인수상정, 무인차량, 로봇 등과 같이 인간이 직접 탑승하지 않고 원격 또는 자율적으로 운용되는 체계로서, 정찰·감시·표적획득·타격·지원 등 다양

한 임무를 수행하며, 전장 환경에서 임무수행의 효율성과 작전 지속성 향상에 기여한다([3], pp. 7-10). 데이터링크와 AI 기반 협업은 유인전투기와 공중 무인비행체 간 정보의 수집·공유·처리 과정을 실시간으로 통합함으로써, 체계 간 협동성과 공동의 임무목표 달성을 가능하게 한다[4].

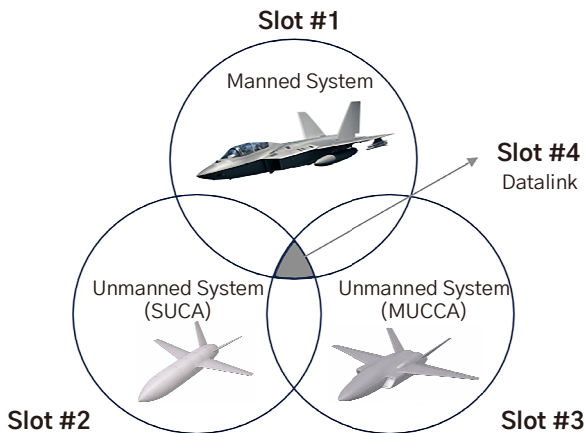


Fig. 1. Conceptual diagram of the multi-slot maintenance structure for MUM-T (AI-generated images)

Fig. 1은 MUM-T의 다중 슬롯 정비(multi-slot maintenance) 구조를 개념적으로 나타낸 것이다. 본 구조는 유인전투기, 전투기협업다목적무인항공기(SUCA, small unmanned collaborative aircraft), 전투기협업무인전투기(MUCCA, medium unmanned collaborative combat aircraft) 및 데이터링크를 각각 독립적인 정비관리 대상으로 구분하되, 이들이 상호 연계되어 하나의 팀밍을 구성한다는 점을 반영한다. 슬롯 #1은 유인전투기를 의미하며, 슬롯 #2는 제한적 재사용 또는 소모성을 고려하는 SUCA를 나타낸다. 슬롯 #3은 반복 운용과 회수를 전제로 하는 MUCCA에 해당하며, 슬롯 #4는 유인전투기와 공중 무인비행체 간 실시간 정보 공유와 협업 운용을 가능하게 하는 데이터링크 영역을 의미한다.

다중 슬롯 정비 구조는 MUM-T의 총수명주기관리를 슬롯별 특성에 따라 차별화하고, 동시에 상호 연계성을 유지하기 위한 개념적 프레임워크로 볼 수 있다.

MUM-T의 효과적인 지속성과 고신뢰성 확보를 위해서는 정비가 필수적이다. 첫째, MUM-T는 유인전투기와 다수의 공중 무인비행체가 데이터링크와 AI 기반 협업체계를 통해 연계되는 복합체계이므로, 개별 부체계의 고장이 전체 팀의 임무수행 능력 저하

로 확산될 가능성이 높다. 이에 따라 플랫폼, 체계, 팀, 통합체계 전 수준에 걸친 지속적 점검과 정비가 요구된다. 둘째, 전술환경의 급속한 변화와 전자전·사이버 위협의 증대는 체계 성능과 운용 지속성의 동시 확보를 요구하므로, 사후정비 중심 접근이 아닌 예방적·예지적 정비체계의 구축이 필요하다. 셋째, 전통적인 고장 후 정비 방식은 운영유지비와 불가동을 증가시킨다. MUM-T는 4개 슬롯으로 구조화된 다중 슬롯 정비 개념을 통해 각 슬롯별 최적 정비주기와 정비방법을 적용함으로써 수명주기비용 절감과 운용 효율성을 제고할 수 있다. 따라서 MUM-T의 안정적인 고 지속가능한 운용을 보장하기 위해서는 다중 슬롯 기반의 정비개념을 정립할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 슬롯 #2인 SUCA와 슬롯 #3인 MUCCA를 중심으로 정비개념을 제시한다.

본 연구는 문헌연구, 운용특성 비교분석, 정비지원 적합성 평가의 3단계로 수행하였다. 첫째, MUM-T, MUCCA, SUCA, 2단계 정비체계 및 성과기반군수지원(PBL, performance-based logistics) 관련 선행연구와 제도문헌을 검토하였다. 둘째, SUCA와 MUCCA의 재사용성, 소모성, 회수 가능성, 기체 규모, 운용주기, 정비복잡도, 저장 필요성, 성능개량 방식 등을 비교하였다. 셋째, 각 체계의 운용특성에 따라 2단계 정비체계, PBL의 적용 적합성을 평가하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 전투기협업무인전투기의 개념과 운용특성

MUCCA는 중위협 환경에서 적 방공망 무력화 임무를 수행하는 핵심 무인전력이다[5]. MUCCA는 유인전투기와 SUCA 간 협업 운용체계를 중심으로 발전하며, 이를 통해 고위협 지역에서의 전장 인식능력과 교전 효율성을 향상시키고 유인전투기의 임무부

Table 1. MUCCA specifications[5] (AI-generated image)

Category		Description
Dimensions 	Length	12.2 m
	Wingspan	9.6 m
	Height	3.4 m
Maximum Take Off Weight		5,420 kg
Performance	Maximum Speed	1,100 km/h
	Operational Range	1,000 km

담을 경감함으로써 생존성과 작전 지속성을 제고하는 것을 지향한다. 또한 유인전투기와 유·무인 복합전투체계 운용을 전제로, 작전반경은 최대 약 1,000 km 수준으로 설정하였다. MUCCA의 제원은 Table 1과 같다.

MUCCA와 SUCA를 전방에 배치하여 정찰, 감시, 표적 획득 및 교란 임무를 수행하도록 함으로써, 유인전투기는 지휘통제 및 핵심 타격 임무에 집중할 수 있다. 이러한 역할 분담 구조는 전장 환경 변화에 대한 대응능력을 향상시키는 동시에, 고강도 분쟁 상황에서도 전력 손실을 최소화한다[6]. 또한 MUCCA는 SUCA에 후속하여 운용되는 개념으로, 작전 수행 후 회수를 전제로 하므로 높은 수준의 성능과 생존성을 확보하기 위한 고사양 설계가 요구된다[7]. MUCCA의 운용특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Operational characteristics of MUCCA([8], pp. 130-141)

Category	Description
Flight Hours	Approx. 3 hrs
Operating Time	Approx. 5~6 hrs

MUCCA는 SUCA와 달리 제한적 재사용을 전제로 한 소모성 체계가 아니라, 기본적으로 장기간 운용을 전제로 하면서도 전시 상황에서는 손실을 감수할 수 있는 준소모성(quasi-attributable) 체계[9]로 이해할 수 있다. 즉, MUCCA는 반복 운용과 회수를 기본으로 하는 재사용형 협업 무인전투기로서, 필요 시 유인전투기의 위험을 경감하고 생존성을 높이기 위해 고위험 임무에 선행 투입될 수 있는 성격을 가진다[10].

추가적으로 MUCCA는 유인전투기와와 협동 운용을 전제로 하여, 유인전투기보다 선행하여 고위험 공역에 투입되고 적의 방공망·감시센서·효과기에 대응함으로써 유인전투기의 임무위험을 감소시키는 역할을 수행할 수 있다[11]. 이러한 점에서 MUCCA는 단순한 보조 전력이 아니라, 유인전투기의 생존성을 높이고 전력 분산 효과를 제공하는 협업형 전투자산으로 볼 수 있다.

또한 MUCCA는 유인전투기와 연계된 MUM-T 개념에 기반하여, 유인전투기의 임무 명령 또는 통제 하에 반자율·자율적으로 정찰, 표적탐지, 전자전, 교전 지원 등의 임무를 수행할 수 있다. 이를 통해 유인전

투기 조종사는 무인기의 세부 조종 부담을 줄이고, 전장 상황 판단, 지휘통제 및 핵심 타격 임무에 집중할 수 있는 여건을 확보할 수 있다[12].

이에 따라 MUCCA는 전력증강 수단이자 위험분산 수단으로 기능하며, 설계 목표 역시 유인전투기와 동일한 성능 기준을 적용하기보다 임무효과, 생존성, 획득단가 및 확보 수량 간의 절충관계를 고려하여 설정될 필요가 있다([13], pp. 9-17, [14], pp. 1-9).

특히 다수 확보를 통한 전력 분산이라는 운용 목적을 고려할 때, MUCCA의 목표 RAM 값은 유인전투기와 동일한 수준으로 설정되기보다 임무위험, 손실허용성, 획득단가 및 확보 가능 수량 간의 절충관계를 반영하여 설정될 필요가 있다. 그러나 MUCCA는 단발성 소모체계가 아니라 반복 운용을 전제로 하는 준소모성 플랫폼이므로, 제한된 수명주기 내에서 일정 수준의 신뢰성, 가용성 및 정비성을 확보하도록 설계하는 것이 타당하다[15].

2.2 전투기협업다목적무인항공기 제한적 재사용 특성

유·무인 복합전투체계는 유인전투기와 AI 기반 SUCA의 협업을 통해 전장 인식능력과 교전 효율성을 동시에 제고하는 운용체제로 정의할 수 있다[6]. SUCA는 지상발사대에서 발사되어 공중에서 유인전투기의 통제 하에 반자율적으로 임무를 수행한 뒤, 임무종료 후에는 낙하산 회수[9] 또는 자율 착륙을 통해 회수되어 재사용되는 체계로 이해할 수 있다.

이와 같은 운용개념에 따라 SUCA의 작전반경은 KF-21 유인전투기의 작전반경을 참조하여 약 400 km 수준으로 설정하였다. SUCA의 제원은 Table 3과 같다.

SUCA는 일회용 공중 무인비행체와 장수명 공중 무인비행체의 중간적 성격을 갖는 플랫폼으로, 단회

Table 3. SUCA specifications[5] (AI-generated image)

Category		Description	
Dimensions		Length	3.1 m
		Wingspan	2.2 m
		Height	3.4 m
Maximum Take Off Weight		150~200 kg	
Performance	Maximum Speed	1,125 km/h	
	Operational Range	400 km	
Engine Thrust		250 lbf	

성 소모를 전제로 하는 체계가 아니라 일정 수준의 반복 운용을 고려하는 개념이다. 따라서 전통적인 장수명 무인항공기와 동일한 운영유지 방식을 적용하기 보다는, 지속적인 운용과 소모를 전제로 조달 및 성능 개량이 순환되는 구조가 보다 적절한 운용개념이라 할 수 있다[6],([8], pp. 130-141). SUCA의 총수명주기관리 특징은 5회 미만의 제한적 재사용을 전제로 하는 소모성 운용개념을 채택한다는 점이다. 또한 전시 신속·대량 획득을 보장하기 위해 평시에도 생산능력을 지속적으로 유지해야 한다는 것이다. 이러한 특성은 장기 운용과 정비를 중심으로 총수명주기관리를 수행하는 기존 유인전투기와 구별된다. 다시 말해, SUCA는 의도적으로 제한된 수명을 전제로 설계된 체계로서, 소모-획득-비축이 반복되는 순환적 관리구조를 기반으로 운용된다는 점에서 기존 항공무기체계와 차이를 가진다([8], pp. 130-141). SUCA의 운용특성은 Table 4와 같다.

Table 4. Operational characteristics of SUCA([8], pp. 130-141)

Category	Description	Remarks
Flight Hours	Approx. 1.5 hrs	Single mission
Sortie Life	Approx. 5 sorties	Total operational sorties
Engine Life	Approx. 20 hrs	-
Recovery Method	Parachute type	Reusable

SUCA는 장기 반복 운용을 전제로 하는 고가 플랫폼이라기보다, 저비용 제한적 재사용 및 소모성을 고려하는 방식으로 이루어지며, 일정 운용 횟수에 도달한 기체는 최종적으로 자폭용 탄두를 장착한 실사격 임무에 투입되어 소모되는 개념을 가진다. 이와 같은 운용개념은 저비용, 손실 감내성, 제한된 재사용성 및 대량 확보 가능성을 전제로 하므로, 총수명주기관리 측면에서 기존 유인전투기와는 상이한 획득·운영 유지 접근을 요구한다[9].

즉, SUCA는 소모 수량만큼 동일 또는 개량 형상의 기체를 지속적으로 확보하는 순환적 획득구조를 필요로 하며, 공군은 평시 훈련 소요와 전시 비축 소요를 동시에 고려한 일정 규모의 비축량을 유지해야 한다. 이러한 순환형 획득개량 구조가 정착될 경우, 운용부대는 최신 형상의 체계를 지속적으로 확보할 수

있고, 산업체는 평시의 안정적인 수요 신호를 바탕으로 생산설비, 숙련인력 및 공급망을 유지할 수 있다. 이는 유사시 생산량을 신속히 확대할 수 있는 생산확대 능력(surge capacity)([16], p. 2)을 확보하는 기반으로 작용할 수 있다.

또한 이러한 순환구조는 운용 데이터와 사용자 환류를 후속 개발 및 개량에 지속적으로 반영함으로써, 단순한 조달 반복을 넘어 체계 형상 개선과 성능개량을 가능하게 하는 장점을 가진다([17], pp. 8-18).

즉, 실제 운용과정에서 축적되는 임무 데이터와 야전운용제원은 성능개량에서 중요한 입력자료로 활용될 수 있다. 이러한 데이터가 산업체에 체계적으로 환류될 경우, AI 기반 임무 알고리즘, 위협 대응 기능, 비행경로 최적화 기능뿐만 아니라 기체 형상, 부품 구성 및 정비 기준의 개선 요구를 신규 획득분에 반영할 수 있다([18], pp. 8-18, [19], pp. 11-47, [20], pp. 20-25).

결과적으로 SUCA의 총수명주기관리는 장기 보유 중심의 관리가 아니라, 제한된 수명과 반복 획득을 활용하여 소프트웨어와 하드웨어를 지속적으로 최신화하는 순환형 관리체계로 접근하는 것이 타당하다.

2.3 2단계 정비체계의 구조와 운영유지 특성

2단계 정비(two-level maintenance)체계는 야전정비(field-level maintenance)와 지속지원정비(sustainment-level maintenance)의 두 범주로 구분한다. 야전정비는 장비의 신속한 운용 복귀를 목적으로 부대에서 정비업무를 수행한다. 반면 지속지원정비는 운용부대에서 복구가 곤란한 장비 또는 구성품을 대상으로 제작사나 군수지원업체 등 후방 지원체계에서 수행되는 정비활동이다[21,22].

Table 5는 야전정비와 지속지원정비의 주요 차이를 비교한 것이다. 구체적으로 야전정비는 운용수준에서 수리 또는 교환이 가능한 장비와 구성품을 대상으로 하며, 운용부대, 지원부대, 운용요원 및 야전정비 인력에 의해 수행된다. 주요 업무는 고장진단, 결함품 교체, 점검, 급유·윤활, 조정 및 교정 등으로 구성되며, 장비의 신속한 운용 복귀에 중점을 둔다. 반면 지속지원정비는 상위 수준의 수리나 오버홀(overhaul)이 요구되는 장비와 조립체를 대상으로 하며, 지속지원정비부대 또는 후방 군수지원기관에 의해 수행

Table 5. Comparative characteristics of field-level and sustainment-level maintenance[22]

Category	Field	Sustainment
Maintenance Target	Equipment, parts, and components that can be repaired or replaced at the operational level	Equipment, assemblies, subassemblies, and components requiring higher-level repair or overhaul
Responsible Entity	Operating units, supporting units, crews/operators, and field maintainers	Depots and other authorized sustainment maintenance organizations
Maintenance Tasks	Fault diagnosis, battle damage assessment and repair, recovery, calibration, replacement of defective parts, inspection, servicing, lubrication, and adjustment	Inspection, testing, repair, modification, alteration, modernization, conversion, overhaul, reclamation, and reconstruction
Location	Unit maintenance facilities, motor pools, mobile shops, and tactical environments	Depot facilities and rear-area sustainment support facilities

된다. 이 단계에서는 검사, 시험, 수리, 개조, 성능개량, 형상변경, 오버홀, 재생 및 재구성과 같은 정밀 정비가 이루어진다.

또한 야전정비는 부대 정비시설, 이동정비소, 전술적 운용환경 등 전방 중심의 장소에서 수행되는 반면, 지속지원정비는 후방 지원시설과 같이 전문 장비와 인력이 확보된 환경에서 수행된다.

따라서 2단계 정비체계는 전방의 즉응정비와 후방의 심층정비를 기능적으로 분리함으로써, 가동률과 신뢰성을 동시에 확보하기 위한 정비구조로 볼 수 있다.

2.4 성과기반군수지원 기반의 수명주기 성과관리

PBL은 성과기반 수명주기 체계지원과 동일한 의미로 사용되며, 수요군 요구를 충족하는 동시에 혁신을 통한 비용 절감을 체계지원수행자(product support provider)에게 유인하는 성과기반협약을 통해 성과를 달성하는 개념이다. 이러한 협약은 산업체와 체결하는 계약 또는 정부기관 간 협약의 형태로 구성된다([23], p. 10).

이와 같은 구조를 기반으로 PBL은 산업체 역량을 활용하여 사업비, 일정, 성과를 종합적으로 향상시킬 수 있는 제품지원 모델로 작동하며, 실행 가능한 총수명주기관리의 효과적 대안으로 제시된다. 또한 PBL은 총수명주기관리 관점에서 획득과 공급망 관리를 유기적으로 연계함으로써 군수지원 혁신을 촉진하는 제도적 기반으로 기능한다. 이에 따라 군수지원의 대응성과 비용 효율성이 향상되고, 궁극적으로 무기체계의 가용도와 신뢰도 제고에 기여하는 것으로 평가된다[24]. 이러한 효과를 실질적으로 확보하기 위해서는 PBL 성과를 정량적으로 측정하고 관리할 수 있는 기준이 필요하다. 이런 점에서 PBL 수행의 핵심

요소 중 하나는 성과의 정량화이며, 이를 위해 수요군 관점에서 준비태세, 임무수행 능력, 그리고 임무달성 가능 여부를 성과지표로 구체화할 필요가 있다([25], p. 8).

3. SUCA와 MUCCA의 차별적 정비체계 적용

3.1 SUCA의 2단계 정비체계 적용

SUCA는 처분단계에서 타격 모듈로 운용할 수 있다. 타격 모듈은 센서 기반 분석을 통합하여 표적 상공을 제공하면서 탐지·식별하고 표적에 충돌하여 소모되는 공중 무인비행체이다[26]. 또한 SUCA는 타격 모듈이라는 운용 특성을 고려할 때, 정비 및 검사 업무를 운용부대에서 수행한다[27]. 해당 체계는 기본적으로 타격 임무를 목적으로 설계되어 있으며, 처분단계에서는 발사 이후 표적 명중 여부와 무관하게 소모된 것으로 간주된다. 이에 따라 정비범위는 운용 전 검사, 안전성 확인 및 기능 점검 수준으로 제한하는 것이 타당하다. 따라서 해당 체계의 소모적 운용 특성을 고려할 때, 2단계 정비체계를 적용하는 것이 타당하다.

SUCA의 2단계 정비체계는 야전정비와 지속지원 정비로 구분되며, 각 단계는 명확한 역할과 주체를 기반으로 Table 6와 같이 정비업무를 설정한다. 야전정비는 운용부대가 담당하며, 고장 확인, 부대교환품목 교환, 예방정비표에 따른 예방정비를 수행한다. 또한, 지속지원정비는 야전정비 능력을 초과하는 품목에 대한 정비지원 즉, 외주정비를 주체로 하며, 지속지원정비 품목의 시험, 교환, 분해, 수리 및 재생과 같은 정밀 정비를 담당한다.

회수된 SUCA에 대해서는 운용부대가 야전정비 수

Table 6. Details of the 2 level maintenance system for medium-class UAV([8], pp. 41-42)

Maintenance		
Level	Tasks	Entity
Field level maint.	- Fault identification and replacement of line replaceable units - Preventive maintenance through preventive maintenance items - Operational inspection and serviceability confirmation	Operating unit
Sustainment level maint.	- Testing, replacement, disassembly, repair, and refurbishment of depot level items - Maintenance of items beyond unit maintenance capability	Product support contractor

준에서 비행 후 점검, 안전성 확인, 기능 점검, 그리고 부대교환품목(LRU, line replaceable unit) 중심의 교환정비를 수행하는 구조를 적용할 수 있다. 이는 현장 운용부대가 복잡한 분해·수리 기능을 모두 수행하는 방식이 아니라, 신속한 점검과 모듈 단위 교환을 통해 전력 가용성을 조기에 회복하는 데 중점을 두는 방식이다. 반면 고장 품목 또는 심층 기술정비가 요구되는 구성품은 지역거점 정비센터로 이송한 후 외주정비를 통해 복원하고, 정비 완료 후 다시 운용부대로 반납하는 체계를 적용할 수 있다. 이를 통해 운용부대는 임무수행과 운용성 유지에 집중하고, 정비센터와 산업체는 전문 정비역량과 기술자료를 축적하는 계층적 지원구조를 형성할 수 있다.

아울러 SUCA는 평시 비축과 전시 대량 소모를 함께 고려해야 하므로, 획득 이후 장기간 저장되는 기체에 대한 저장 신뢰성 평가체계의 도입이 요구된다. 저장 신뢰성 평가는 탄약 신뢰성 평가와 유사한 개념으로, 장기 저장 과정에서 발생할 수 있는 배터리 성능 저하, 전자장비 신뢰도 저하, 구조적 열화 등을 주기적으로 점검하고 성능을 검증하기 위한 관리체제로 볼 수 있다. 이러한 저장 신뢰성 관리가 병행될 때, 평시 비축 전력은 유사시 즉각 운용 가능한 상태로 유지될 수 있으며, 대량 비축을 전제로 하는 SUCA 운용개념의 실효성도 확보될 수 있다.

또한 지역거점 정비센터를 중심으로 운용데이터와 야전운용제원을 축적·분석하는 협력체계를 구축할 경우, 신뢰성 개선, 형상 변경, 구조 보강, 부품 개조 등의 요구를 도출하여 신규 획득분에 반영할 수 있다. 여기에 K-MOSA 기반 모듈형 설계를 적용하면, 평시에는 기체와 임무장비를 모듈 단위로 분리 저장하고, 전시에는 임무요구에 따라 전자전형, 기만형, 소모형 등 다양한 임무장비를 신속하게 조립·교체할 수 있다. 이를 통해 저장 효율성, 생산 표준화, 임무전환 유연성을 동시에 확보할 수 있다. 따라서 SUCA의

2단계 정비체계는 단순한 정비체계를 넘어, 저장관리, 데이터 환류, 형상개선, 모듈형 임무전환을 포괄하는 통합적 운영유지개념으로 확장될 필요가 있다.

3.2 MUCCA의 PBL 적용

MUCCA는 소모형 전력으로 설계되는 SUCA와 달리, 유인전투기와와 동시 생존 및 동시 복귀를 전제로 하는 협업 전력으로서, 모듈화의 목적과 적용 방식이 상이하다. 따라서 MUCCA는 고신뢰·고생존 전력의 장기 운용을 지원하기 위한 체계 안정성 확보에 중점을 둘 필요가 있다.

아울러 600 kg 초과 대형급 공중 무인체계는 높은 체계 복잡성과 운영유지비를 고려할 때 PBL의 적용이 적절하다. 현재 공군은 유인전투기에 보급 중심의 PBL을 적용하여 높은 가동률을 확보하고 있으며, 이러한 운용 경험은 고가의 유인전투기에 민간 산업의 정비·보급 역량을 접목함으로써 전력 가동률 유지에 효과적인 것으로 평가된다. 이는 MUCCA의 정비지원체계 구축에 중요한 참고가 될 수 있다. 따라서 MUCCA에는 체계 안정성과 장기 운용성을 확보하기 위한 방안으로 PBL을 적용하는 것이 합리적이다.

Table 7. Proposed metrics for PBL([8], p. 45)

Category	Reason for selection
A_m	Directly linked to mission accomplishment because the operational availability of unmanned aerial vehicle determines air mission performance
CPOH	Directly linked to the cost of parts procurement caused by supply-related non-mission capable conditions

Table 7과 같이 MUCCA의 PBL 성과지표는 운용 특성과 군수지원 목표를 동시에 반영한 장비가동률(A_m , materiel availability)과 장비사용당비용(CPOH, cost

per operating hour) 중심으로 설정한다([8], p. 45).

MUCCA의 PBL 성과지표는 A_m 외에도 운용가용도(A_o , operational availability) 임무수행가능률(MC, mission capable rate), 정비·보급 원인 임무불능률(NMCM, not mission capable maintenance/NMCS, not mission capable supply), 평균고장간격(MTBF, mean time between failures), 평균수리시간(MTTR, mean time to repair), 군수반응시간(LRT, logistics response time) 등을 검토하였다. 그러나 기존 연구[29]와 플랫폼 운용 효율성을 고려할 때, MUCCA의 PBL 성과지표는 A_m 과 CPOH를 중심으로 구성하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

또한 모든 유인전투기 임무에 MUCCA가 상시 요구되는 것은 아니므로, 기체수명 소모 속도를 유인전투기와 동일한 수준으로 전제할 필요는 없다. MUCCA는 작전 필요도와 위협 수준에 따라 선택적으로 운용되는 체계로 볼 수 있으며, 이에 따라 운용·예비·저장 상태를 순환하는 총수명주기관리 체계의 적용이 가능하다. 이러한 관점에서 MUCCA의 총수명주기관리는 단순한 장기보유 중심의 관리방식이 아니라, 작전 운용성, 생존성, 비용효율성 및 전시 손실 허용성을 함께 고려하는 동적 자산관리 개념으로 정립될 필요가 있다.

이러한 PBL 구조하에서 MUCCA는 기본적으로 유인전투기와 유사한 정비체계를 적용받되, 공중 무인비행체의 운용 특성을 반영한 차별화된 정비절차가 병행되어야 한다. 즉, 활주로 이륙 전 정비사에 의한 비행 전 점검과 자체진단점검(BIT, built-in test)을 통해 임무 가능 여부를 확인하고, 임무 종료 후에는 기지로 자율복귀하여 비행 후 점검과 결함 식별을 수행하는 구조를 상정할 수 있다. 이 과정에서 식별된 결함은 야전정비 수준에서 LRU 교체를 통해 신속히 복구하고, 교체된 품목은 거점 정비센터로 이송하여 지속지원정비를 거쳐 기능을 회복한 뒤 재보급하는 방식으로 운용할 수 있다.

PBL 성과를 안정적으로 달성하기 위해서는 MUCCA를 단순한 운용자산이 아니라, 운용·예비·저장 상태를 순환하는 관리대상으로 설정할 필요가 있다. MUCCA는 일정 기간 운용되어 기체시간이 누적되면 운용 상태에서 예비 상태로 전환될 수 있으며, 이 과정에서 저장을 위한 분해, 정밀검사, 필요시 신형 부품으로의 개조가 이루어질 수 있다. 예비 전환이 완

료된 기체는 특수 저장시설로 이동하여 보관하고, 저장 중에도 주기적인 저장 신뢰성 평가를 통해 부식, 전자장비 열화, 구조 피로 등 잠재적 문제를 점검해야 한다. 이후 저장된 MUCCA는 야전운용제원 분석 결과에 따라 저장 해제후 운용자산으로 복귀할 수 있으며, 운용·예비·저장 상태 간 전환 시점과 속도는 실시간 야전운용제원 분석을 기반으로 동적으로 조정되는 구조가 바람직하다.

아울러 PBL 수행의 효과성을 높이기 위해서는 공군과 산업체 간 데이터 협력체계 구축이 중요하다. 평시 유·무인 복합 교전훈련을 통해 축적된 야전운용제원은 산업체의 임무 알고리즘 고도화와 성능개선에 활용될 수 있으며, 개선된 소프트웨어는 운용 중인 기체에 재장입되어 작전능력을 최신 상태로 유지하는데 기여할 수 있다. 또한 이러한 데이터는 단순한 성능개선에 그치지 않고 야전운용제원 분석과 자산 전환 의사결정의 입력자료로도 활용될 수 있다. 따라서 MUCCA의 PBL 적용은 소프트웨어 개선과 자산관리 판단이 동일 데이터 기반 위에서 통합적으로 이루어지는 구조로 발전할 필요가 있다.

마지막으로 장기 운용성과 성능개량의 유연성을 확보하기 위해서는 K-MOSA 기반 모듈화 설계를 MUCCA에 적용할 필요가 있다. 임무요구에 따라 센서, 무장, 전자전 모듈 등을 교체할 수 있다면, MUCCA는 단일 임무용 기체가 아니라 다양한 임무에 대응 가능한 다목적 전략자산으로 활용될 수 있다. 또한 모듈화 설계는 장기 운용기간 동안의 개조와

Table 8. Comparative TLCSM characteristics of SUCA and MUCCA

Item	SUCA	MUCCA
Characteristics	Attributable	Reusable, quasi-attributable
TLCSM	Circular sustainment	Dynamic asset management
Acquisition Approach	Recurring acquisition/inventory-oriented	Long-term operation/availability-based support
Maintenance	Pre-launch inspection, LRU replacement, storage reliability	PBL, BIT, LRU replacement
Recovery	Parachute	Autonomous return, repeated operation
Indicators	Storage reliability, mission success rate, expendability, unit cost	A_m , CPOH

최신화를 보다 신속하고 유연하게 수행할 수 있도록 한다. 이는 유인전투기와 유사한 장기 운영체제에서 발생할 수 있는 기술 진부화를 완화하고, 세대 전환 시점에서 유·무인 전력의 동시 개량과 구조 개편을 가능하게 하는 기반이 될 수 있다.

이상의 논의를 종합하면, SUCA와 MUCCA는 운용 개념, 회수방식, 정비중점, 획득방식 및 성과지표 측면에서 상이한 총수명주기관리 특성을 가진다. Table 8은 SUCA와 MUCCA의 총수명주기관리 특성을 비교한 것이다.

4. 결론

본 연구는 MUM-T의 안정적 운용과 지속가능한 전력화를 위해 다중 슬롯 정비 개념을 기반으로 SUCA와 MUCCA의 총수명주기관리 적용방안을 검토하였다. MUM-T는 유인전투기와 공중 무인비행체의 분리된 운용방식을 초월하여, 상호 연계와 협업에 기반한 팀밍 개념을 구현하는 작전운용 패러다임이다. 이는 전투수행의 효율성을 증대시키고 인명 및 핵심 전력의 위험 노출을 최소화하는 한편, 공중·해양·지상 영역이 복합적으로 융합되는 미래 전장환경에서 작전 탄력성을 확보하는 데 중요한 의의를 가진다. 또한 MUM-T는 유인전투기와 공중 무인비행체가 데이터링크 및 AI 기반 협업을 통해 하나의 전투팀으로 운용되는 복합 전투체계이므로, 단일 플랫폼 중심의 정비개념만으로는 운용 지속성과 임무 신뢰성을 확보하기 어렵다. 따라서 유인전투기, MUCCA, SUCA 등 각 전력요소의 운용특성, 소모성, 재사용성 및 정비지원 요구를 반영한 다중 슬롯 기반의 차별적 운영유지가 요구된다.

연구 결과, SUCA는 제한적 재사용과 소모성을 전제로 하는 중형급/제한재사용형 공중 무인비행체로서, 다중 슬롯 정비 개념상 제한적 재사용·소모형 슬롯에 해당한다. 이에 따라 SUCA에는 장기 보유 중심의 관리방식보다 소모, 회수, 점검, 저장, 반복 획득이 연계되는 순환형 운영유지가 적합한 것으로 분석되었다. 구체적으로 SUCA에는 야전정비와 지속지원정비로 구성된 2단계 정비체계를 적용하고, 회수 기체에 대해서는 비행 후 점검, 안전성 확인, 기능 점검, LRU 중심의 교환정비를 수행하는 구조가 타당하다. 또한 평시 비축과 전시 소모 가능성을 고려하여 저장

신뢰성 평가체계를 병행함으로써, 비축 전력의 즉응성과 대량 운용개념의 실효성을 확보할 필요가 있다.

반면 MUCCA는 반복 운용과 회수를 전제로 하는 중형급 협업 무인전투체계로서, 다중 슬롯 정비 개념상 재사용형·고신뢰 협업전력 슬롯에 해당한다. 따라서 장기 운용성과 체계 안정성을 확보하기 위한 PBL 적용이 적절하다. MUCCA에는 장비가동률과 장비사용당비용을 중심으로 성과지표를 설정하고, 운용·예비·저장 상태를 순환하는 동적 자산관리체계를 적용할 필요가 있다. 또한 비행 전 점검, 자체진단점검, 비행 후 점검, LRU 교체, 거점 정비센터 기반 복원체계를 연계함으로써 유인전투기와 유사한 운용 안정성을 확보하되, 공중 무인비행체 특성에 부합하는 차별화된 정비절차를 병행해야 한다.

아울러 다중 슬롯 정비개념의 효과를 높이기 위해서는 슬롯별 정비결과와 운용데이터가 후속 개발 및 성능개량 과정에 환류되는 구조가 필요하다. SUCA와 MUCCA 야전운용제원의 환류를 통해 신뢰성 개선, 형상 변경, 소프트웨어 고도화 및 부품 개선 요구를 후속 획득분과 성능개량에 반영할 수 있다. 여기에 K-MOSA 기반 모듈화 설계를 적용하면, 슬롯별 임무장비의 교체성과 체계 간 확장성을 높일 수 있으며, 저장 효율성, 생산 표준화, 임무전환 유연성 및 장기 성능개량 가능성을 동시에 확보할 수 있다. 따라서 MUM-T의 총수명주기관리는 다중 슬롯 정비 개념으로 정립될 필요가 있다.

또한 개념적 정비 슬롯의 통합과 표준화는 MUM-T에 한정되지 않고, 해양·지상 무인체계 전반에 적용 가능한 범용적 운영유지 프레임워크로 확장될 수 있다. 이는 체계별 운용특성과 정비지원 요구를 슬롯 단위로 구조화함으로써, 정비개념의 일관성과 확장성을 확보할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 따라서 다중 슬롯 정비개념은 MUM-T의 총수명주기 전반에서 운용 지속성과 군수지원 효율성을 제고하기 위한 전략적 관리개념으로 평가할 수 있다.

본 연구는 SUCA와 MUCCA의 상이한 운용특성을 다중 슬롯 정비 개념에 연계하여, MUM-T에 적합한 차별적 총수명주기관리 방향을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 향후 연구에서는 실제 야전운용제원을 기반으로 슬롯별 RAM 목표값, 저장 신뢰성 평가주기, PBL 성과지표 및 수명주기비용을 정량적으로 검증할 필요가 있다. 이를 통해 MUM-T의 운용효과

와 군수지원 효율성을 동시에 확보할 수 있는 실증적 총수명주기관리 모델을 구체화할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Simon Schwerd & Axel Schulte, 'Operator State Estimation to Enable Adaptive Assistance in Manned-Unmanned-Teaming,' *Cognitive Systems Research*, VOL. 67, 2021, pp. 73-83.
<https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2021.01.002>
- [2] Federal Aviation Administration, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge (FAA-H-8083-25C), U.S. Department of Transportation, 2023, pp. 2-1-2-15.
- [3] International Civil Aviation Organization, Unmanned Aircraft Systems (UAS), Montréal, Canada: ICAO, ICAO Circular 328 AN/190, 2011.
- [4] Byung Woon Kim & Ga Eun Choi, 'Level and Program Analytics of MUM-T System,' *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, VOL. 25, 2024, pp. 593-604. <https://doi.org/10.1007/s42405-023-00675-4>
- [5] 유용원 의원실, 국방 무인체계 현재와 미래: 육해공 무인체계 발전 방향 세미나, 국회 의원회관 제1소회의실, 2024.
- [6] 우주항공청·한국항공우주연구원, K-드론 기체 공급망 이니셔티브 정책 간담회, KW컨벤션 아이리스크, 2025.
- [7] 김동현, “미래 KF-21은 자폭·전투 무인기와 편대”...KAI의 유무인 복합戰 복안은 [김동현의 K웨폰], '한국경제신문, 2024.07.29.
- [8] 오경원·정진은·김명훈·조환정·김동호, 공중 무인체계 총수명주기관리방안 연구, 공군본부, 2026.
- [9] Mark Gunzinger & Lukas Autenried, Understanding the Promise of Skyborg and Low-Cost Attritable Unmanned Aerial Vehicles, Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2020.
- [10] Mark A. Gunzinger, Lawrence A. Stutzriem, & Bill Sweetman, The Need for Collaborative Combat Aircraft for Disruptive Air Warfare, The Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2024.
- [11] GBP Aerospace & Defence, KAI Presents Advanced Concepts for Future Air Combat Collaboration, 2025.11.10. <https://gbp.com.sg/stories/kai-presents-advanced-concepts-for-future-air-combat-collaboration/> (accessed 2026.05.10.)
- [12] Luiz Giacomossi, Stiven Schwanz Dias, José Fernando Brancalion, Marcos R. O. A. Maximo, 'Cooperative and Decentralized Decision-Making for Loyal Wingman UAVs,' in proceedings of 2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE), Natal, Brazil, October 2021.
- [13] Gregory C. Allen & Isaac Goldston, The Department of Defense's Collaborative Combat Aircraft Program, CSIS, 2024.
- [14] Travis Sharp, No Dominant Strategy for Air Dominance, CSBA, 2025.
- [15] John Colombi, Bryan Bentz, Ryan Recker, Brandon Lucas, & Jason Freels, 'Attritable Design Trades: Reliability and Cost Implications for Unmanned Aircraft,' in proceedings of 2017 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, Canada, April 2017.
- [16] U.S. Department of War, Acquisition Transformation Strategy: Rebuilding the Arsenal of Freedom, 2025.
- [17] U.S. Department of Defense, Operation of the Software Acquisition Pathway, Washington, DC: U.S. Department of Defense, DoDI 5000.87, 2020.
- [18] U.S. Department of Defense, Digital Engineering, Washington, DC: U.S. Department of Defense, DoDI 5000.97, 2023.
- [19] U.S. Department of Defense, DoD Enterprise DevSecOps Activities & Tools Guidebook, Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2025.
- [20] Monohakobi Technology Institute, The Benefits and Opportunities of Data-Driven Condition Based Maintenance, Lloyd's Register Group, 2024.
- [21] United States General Accounting Office, Air Force Maintenance: Two Level Maintenance Program Assessment, GAO/NSIAD-96-86, 1996.
- [22] David Wilson, 'The Anatomy of Two-Level Maintenance in Multi-Domain Battle,' *Army Sustainment*, January-February 2018, pp. 32-35.
- [23] U.S. Department of Defense, PBL Guidebook: A Guide to Developing Performance-Based Arrangements, 2016.
- [24] D. Hurst, Performance-Based Logistics: A Bridge Between Acquisition Reform and Logistics Supply Chain Management, U.S. Army War College, 2006.
- [25] Jin Eun Jeong, 'Performance Measurements and Implementation Strategies for PBL,' Master's thesis, Hanyang University, 2009.
- [26] Ingild Bode & Tom F. A. Watts, Loitering Munitions and Unpredictability: Autonomy in Weapon Systems and Challenges to Human Control, Center for War Studies, 2023.
- [27] Department of the Army, Redesigning Sustainment Organizations Through Transformation in Contact 2.0, Army Sustainment, Summer 2025.