

종합군수지원(ILS) 측면의 린 메인テナンス 프레임워크, 정비 전략 제시 및 린 예방정비(PM) 사례 연구

임재훈*, 서양우¹
¹LIG넥스원(주)

Lean Maintenance Framework, Maintenance Strategy for ILS and Case Study on Lean PM

Jae-Hoon Lim^{*}, Yang-Woo Seo¹

¹ILS(Integrated Logistics Support) R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd.

요약 최근까지의 종합군수지원 개발은 정비계획, 지원장비, 보급지원, 군수지원교육 등 ILS 지원성요소의 개발, 획득에 주로 초점을 두었다. 이제는 장기적인 관점에서 무기체계의 운용유지와 총수명주기관리체계(TLCSM)와 같이 지속유지성을 강조하는 제도 등을 고려하여 지원성 분야의 효율성 증대, 비용절감 등 린(LEAN) 관점에서 지원성 전략과 정책이 필요할 때이다. 본 논문에서는 ILS 이론, 린 개념, 린 메인テナンス의 이론적 배경을 살펴보고 이를 바탕으로 군수지원 측면의 린 메인テナンス 프레임워크를 제시하고 정비 전략을 제시하였다. 또한 레이더 체계의 급속형 필터에 대한 린 예방정비(PM) 사례를 정비 시간, 정비 인시, 정비 비용 3가지 측면에서 분석하였다. 마지막으로 무기체계의 지원성요소 측면에서 추진 방향을 제시하였다.

Abstract Until recently, Integrated Logistics Support (ILS) focused mainly on the development and acquisition of supportability factors (maintenance planning, maintenance tools, support equipment, supply support, maintenance training, etc.). In the long term, supportability strategies and policies are needed in terms of LEAN-like cost reduction, efficiency in the field of weapon systems. This study first introduces the concept of Lean, theory of Lean Maintenance and suggests Lean maintenance framework, maintenance strategy for ILS. The case studies were analyzed in terms of the maintenance time, maintenance man-hours, maintenance cost for Lean PM in a radar system. The direction of LEAN on supportability in a weapon system is suggested.

Key Words : FMECA, ILS, Lean Maintenance, Maintainability, PM

1. 서론

1.1 연구 배경

현대 무기체계는 점차 대형화, 복합화 되고 있으며 과학기술 발달과 더불어 체계화, 정밀화, 고도화 되고 있다.

또한 최근 세계 각국은 영토 영유권 분쟁, 글로벌 테러리즘에 맞서기 위해 군비를 증강하고 첨단 무기체계 개발에 앞장서 왔다. 이와 함께 당연한 결과로 군수지원 소요 및 비용이 증대하고 있다. Fig. 1은 미 국방부의 운영

및 정비(O&M, Operation and Maintenance)와 관련된 예산의 추세를 나타낸 자료이며 2000년대 이후 급속히 증가함을 알 수 있다[1].

대부분의 무기체계는 일단 획득, 보급되면 기본적으로 20~30년 이상 운용 후에 폐기되는 특성이 있다.

Fig. 2에서 보듯이 무기체계의 수명주기비용 중 운용 및 유지(Operations & Support) 비용이 전체 수명주기비용의 약 60%를 차지한다[2].

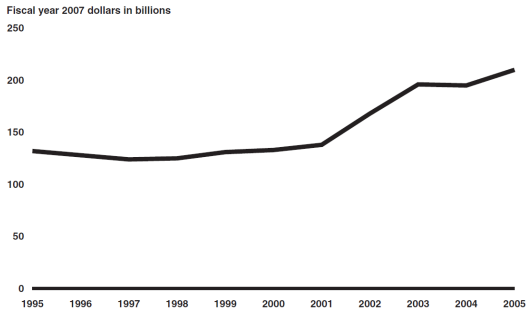
*Corresponding Author : Jae-Hoon Lim(LIG Nex1 Co., Ltd.)

Tel: +82-10-4754-2391 email: jh.lim0222@lignex1.com

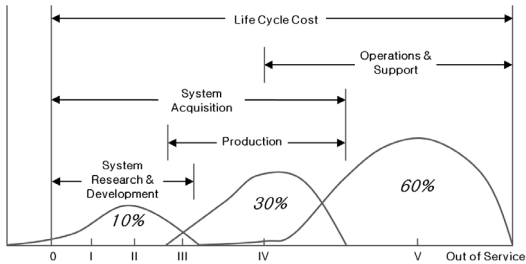
Received June 5, 2014

Revised (1st July 11, 2014, 2nd July 31, 2014)

Accepted September 11, 2014



[Fig. 1] O&M Costs for Fiscal Years 1995 through 2005.



[Fig. 2] Distribution of life-cycle costs.

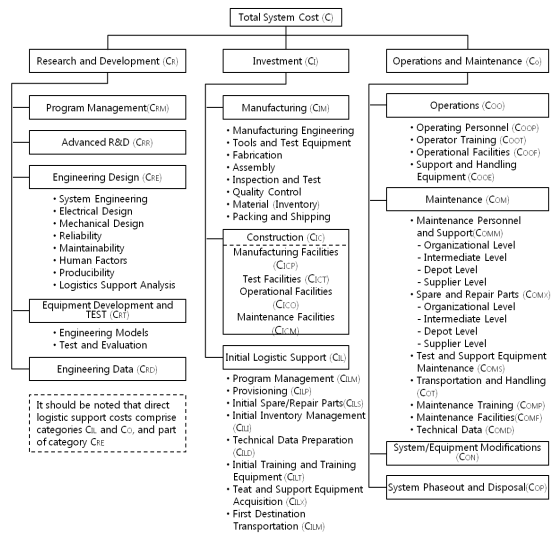
이에 따라 군수지원 분야에서는 장비의 신뢰성, 정비성, 운용가용도, 지원성 향상을 통한 무기체계의 효율적인 군수지원 요소개발 및 운용유지비 절감을 위해 중합군수지원(ILS, Integrated Logistics Support) 분야의 이론과 기법이 발전해왔다.

ILS 개발에서는 메인테넌스(Maintenance)가 가장 핵심적인 요소 중 하나이며, 운용 및 유지단계는 주로 메인테넌스를 통해 이루어진다. 참고로 상용 제품의 제조/생산 설비와 같은 민수 분야와 무기시스템과 같은 군수 분야에서는 메인테넌스라는 용어를 각각 다르게 사용하고 있다. 메인테넌스와 관련된 민수 분야의 국내 서적, 번역본에서는 메인테넌스를 주로 유지보수 또는 보전이라는 용어로 사용하는 반면, 미 군사규격(MIL-STD), 미 군사핸드북(MIL-HDBK)에 기초한 ILS 관련 문서에서는 메인테넌스를 주로 정비 또는 정비성이라는 용어로 사용하고 있다.

최근 한국 군에서는 무기체계 수명주기동안 성능발휘 보장, 군수절차 단순화, 개발 및 배치기간 단축, 총수명주기비용 절감 등을 위해 군사 선진국인 미국, 영국 등에서 운용중인 총수명주기관리체계(TLCSM, Total Life

Cycle System Management)를 도입하고 있다. TLCSM을 수행하는 전략으로는 전투준비태세 및 운용유지와 관련된 성과목표(운용가용도, 신뢰도, 평균불가동시간, 소유비용 등)를 설정하여 무기체계 개발, 배치, 운용유지 등 전분야 또는 일부분을 업체가 전담하게 하고 성과목표를 보장하는 조건으로 절감된 비용을 업체에 보상하는 제도인 성과기반군수(PBL, Performance Based Logistics)를 도입하여 운용중에 있으며, 획득시에만 주로 작성하여 관리하던 중합군수지원계획서(ILS-P)를 획득 및 운용유지를 통합할 수 있는 수명주기지속계획서(LCSP) 문서체제로 전환하려 하고 있다.

TLCSM에서도 메인테넌스를 얼마나 효율적, 효과적으로 수행하느냐가 상당히 중요하다. 왜냐하면 TLCSM에서는 무기체계 수명주기동안의 총소유비용(TOC, Total cost of ownership)을 절감하는 것이 중요한 목표 중 하나이며, 전체 수명주기 비용 중 운용 및 유지 비용이 가장 큰 비중을 차지하는데 이와 직접적으로 관련된 비용이 바로 군수지원비용이기 때문이다.



[Fig. 3] Cost breakdown structure.

Fig. 3을 보면 무기체계의 총시스템 비용 중 초기 군수지원(사업 관리, 초도 보급품, 초도 예비/수리부품, 초기 재고 관리, 기술 자료 준비, 초기 교육 및 교보재, 시험/지원 장비 획득, 최초 납품 운송) 비용과 정비(정비 인력과 지원, 예비/수리부품, 시험/지원 장비 정비, 운송과 취급, 정비 교육, 정비 설비, 기술 자료) 비용 항목이 큰 부분을

차지하고 있음을 알 수 있다[3].

성과기반군수와 수명주기지속계획서에서는 무기체계 시스템의 핵심 성과/성능 지표를 설정하고 달성하는 것이 중요한 요소 중 하나이다. [Table 1]에서 보듯이, 수명주기지속계획서에 반드시 포함되어야 하는 지속유지 성과지표 사례를 살펴보면 정비간평균시간(MTBM), 운용지원비용(O&S Costs), 정비도(Maintainability), 비행시간당 정비인시(Maintenance Manhour per Flight Hour), 평균불가동시간(Mean Down Time) 등 메인테넌스와 직접적으로 관련된 지표들이 다수 포함되어 있다[4].

[Table 1] Sustainment Performance Metric Breakdown

Requirement	Lower Level Metric	Documentation	Standard or Level
Availability (KPP) Material Availability, Operational Availability	NMCS, CWT, AWT, etc Depot Cycle Time Logistics Response Time, NMCS., NCMC.	Service Instruction, Command Directives, etc	
Reliability, MTBCF	MTBM		
O&S Costs			
Affordability	Operating Cost per Unit		
Maintainability	Maintenance Manhour per Flight Hour		
Mean Down Time			
All Others			

TLCSM, 성과기반군수, 수명주기지속계획서 등 최근 에 대두되고 있는 군수지원 제도 등에서도 메인테넌스의 비용, 지표들이 핵심적인 요소 중 하나임을 알 수 있다.

획득(연구/개발, 생산)과 운용유지로 이어지는 무기체계의 수명주기 관점에서 볼 때, 최근까지의 ILS 개발은 운용유지보다는 정비계획, 지원장비(공구, 정비장비 등), 보급지원, 군수지원교육 등 ILS 지원성요소의 획득에 주로 초점을 두어 왔다. 이제는 장기적인 관점에서 무기체계의 운용유지와 TLCSM 등 지속유지성을 강조하는 제도 등을 고려하여 지원성 분야의 효율성 증대, 비용절감 등 린(LEAN) 관점에서 지원성 전략과 정책이 필요할 때이다. 하지만 기존 연구 검토 결과, 린 관점에서 무기체계 지원성 전략과 정책에 대한 연구가 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서 효율적인 지원성 전략의 한 가지 방법론으로 정비와 관련된 낭비 제거를 통해 정비 프로세스를 최적화하고 신뢰성과 가동률의 개선을 추구하는 좀 더 진보된 정비 개념인 린 메인테넌스를 검토하고 군수지원 측면의 린 메인테넌스 프레임워크 및 사례 연구

를 수행하였다.

1.2 연구 범위

본 논문에서는 먼저 ILS 이론, 린 개념 그리고 민수 측면의 린 메인테넌스 이론을 검토한 후 ILS 측면에서 적용이 가능한 린 메인테넌스 프레임워크 및 ILS 린 메인테넌스 전략을 제시한다. 또한 린 메인테넌스 적용 분야 중 린 예방정비(Lean PM)의 사례를 연구한다. 마지막 결론에서는 종합군수지원 린 메인테넌스의 추진 방향을 제시하고 추가적인 연구방향을 제시한다.

2. 본론

2.1 종합군수지원(ILS) 개요

종합군수지원(ILS, Integrated Logistics Support)이란 무기체계의 효과적이고 경제적인 군수지원을 보장하기 위하여 소요제기 시부터, 설계, 개발, 획득, 운용 및 폐기 시까지의 제반 군수지원 요소를 종합 관리하는 활동을 말한다[5].

ILS 요소는 무기체계의 전 수명주기 동안 장비를 효과적이고 경제적으로 군수지원하기 위해서 필요로 하는 모든 사항들을 말하며 주장비 개발과 병행하여 개발, 획득해야 한다. 통상적으로 무기체계 개발 업체는 주장비와 동시에 ILS 요소를 개발하여 소요군에 제공해야하며, 이를 바탕으로 소요군은 장비를 운용하고 유지한다.

ILS 요소는 연구 및 설계반영, 표준화 및 호환성, 정비계획, 지원장비, 보급지원, 군수인력운용, 군수지원교육, 기술교범, 포장/취급/저장/수송, 정비 및 보급시설, 기술자료 관리 등 11대 요소로 구분된다. 요소 개발에 앞서 무기체계의 성능, 안전, 경제성, 가용성 등이 복합적으로 고려되어 신뢰도, 정비도, 가용도(RAM(Reliability, Maintainability, Availability)) 분석 및 군수지원분석(LSA, Logistics Support Analysis)이 수행되며, 이러한 분석 결과를 토대로 군수지원 11대 요소가 개발 된다. 요소 개발을 위해 여러 공학적 기법 및 소프트웨어 도구들이 사용되며, 이 중 신뢰도중심정비, 고장계통분석, 고장유형 영향 및 치명도 분석, 정비성 분석, 동시조달수리부속 분석 등은 메인테넌스와 관련된 기법이다.

결국 ILS 개발의 최종 관리목표는 무기체계 수명주기 동안 군수지원 요소를 적시 적절하게 획득하고 유지하여

전투준비태세를 극대화하고 수명주기 비용을 최소화하는 것이다.

2.2 린(LEAN) 개요

2.2.1 린 개념

린이란 용어는 사전적으로 ‘균살이 없는’, ‘기름기가 없는’이라는 뜻을 가지고 있다. 1986년 미국 MIT 대학에서 주도한 ‘국제 자동차 프로그램(IMVP, International Motor Vehicle Program)’ 연구에서 도요타 생산시스템(Toyota Production System)을 ‘린 생산(Lean Production)’으로 부르며 린이란 용어를 사용하게 되었다.

린 생산이라는 용어는 국제 자동차 프로그램 연구 결과를 분석한 제임스 워맥(James Womack), 다니엘 존스(Daniel Jones)의 저서 ‘생산방식의 혁명(The Machine that Changed the World)’을 통해 널리 알려졌다. 린 생산이란 낭비를 제거하고 작업 공정을 혁신함으로써 비용은 줄이고 생산성은 높이는 생산 방식이다.

이후 린 개념은 기업내에 내재되어 있는 모든 낭비를 철저하게 제거하고 고객관점에서 전사 경영전략과 연계하여 기업의 가치창출을 극대화하는 경영혁신 이론에 이르기까지 발전하였다.

2.2.2 린 용어 및 방법론[6]

1996년에 발간된 제임스 워맥, 다니엘 존스의 저서 ‘린 싱킹(Lean Thinking)’에는 린 사고의 다섯가지 주요 단계를 제시되었다.

- 첫째, 고객의 관점에서 가치를 명확히 하라
- 둘째, 가치를 창조하는 가치흐름을 확인하고 낭비를 제거하라
- 셋째, 가치가 지속적으로 흐르게 하라
- 넷째, 고객이 가치를 끌어가게 만들어라
- 다섯째, 완벽함을 추구하라(지속적 개선)

가치흐름(Value Stream)이라고 하는 것은 제품이나 서비스를 제공하는데 필요한 모든 활동을 말하며 이 안에는 가치와 낭비적인 요소 모두가 상존해 있다. 이러한 활동들 중 명확히 가치와 낭비를 알 수 있도록 작성되는 것이 ‘가치흐름지도(Value Stream Map)’이며 가치흐름 지도를 바탕으로 낭비를 식별하고 개선의 방향을 찾는 것이 가치흐름분석(Value Stream Analysis)이다.

여기서 낭비란(Waste)란 부가가치(Value Added)를 발생시키지 않는 모든 활동을 가리킨다. 가치흐름상 모

든 비부가가치 활동(Non-Value Added), 즉 낭비는 제대로 식별되어 효과적으로 제거하여야 한다.

낭비를 도출해내고 개선 대책을 세우는 방법으로 3불과 7대 낭비라는 대표적인 방법이 있다. 3불의 낭비는 불필요(Muda), 불합리(Muri), 불균일(Mura) 낭비로 구성되어 있으며, 불필요 낭비는 다시 7가지 낭비(과잉생산, 대기, 동작, 운반, 가공, 재고, 불량)로 나누어진다.

[Table 2] Examples of 3M and 7Types of Waste

Muda	Muri	Mura
<7Types of Waste> Overproduction Waiting time Processing Movement /motion Transportation Rework Inventory Defect	Excessive transportation, Unnatural behavior, Confusing signs	irregular behavior, frequently changing tool position

또한 낭비 도출 및 지속적 개선의 대표적 혁신활동으로 5S 활동이 있다. 5S란 정리(Seri), 정돈(Seiton), 청소(Seiso), 청결(Seigetsu), 습관화(Sitsuke)를 의미한다. 최근에는 낭비 제거와 실천에 중점을 둔 ‘린 5S 활동’으로 업그레이드되어 제시되고 있다.

2.3 린 메인テナンス 개요

기업의 경우 설비 고장이 생산성과 제품 품질에 지대한 영향을 미치고 결국 수익성 저하로 이어지기 때문에 설비 가동률, 설비 효율을 높일 수 있는 활동과 기법을 적용 발전시켜왔다. 이에 따라 제품의 생산/제조에 필요한 설비의 유지보수와 관련된 이론과 기법 역시 발전해왔다.

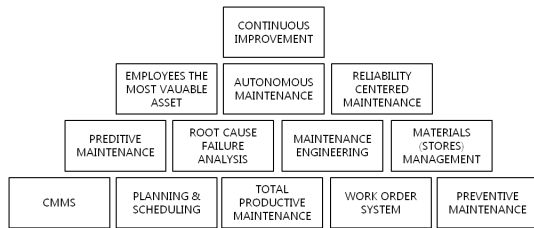
린 메인テナンス는 2000년대 초에 제시된 개념으로써 린 이론을 기반으로 메인テナンス와 관련된 낭비를 제거하여 정비 프로세스를 최적화하고, 신뢰성 및 가동율 개선을 목표로 하는 좀 더 진보된 메인テナンス 개념이다. 이는 생산설비, 제조설비의 보전을 목적으로 하는 민수 측면의 린 메인テナンス 개념이라고 할 수 있다.

LCE(Life Cycle Engineering, Inc)의 엔지니어인 Ricky Smith는 린 메인テナンス를 다음과 같이 정의한다[7].

“린 메인テナンス는 전사적생산정비(TPM)를 통해 계획되고 예정된 메인テナンス(유지보수) 활동을 수행하고 신뢰도중심정비(RCM) 결정 논리 적용을 통해 개발된 메인テナンス 전략을 사용하는 선제적인 메인テナンス 활동이며,

이는 작업지시시스템, 설비관리정보시스템(CMMS) 또는 전사적자산관리(EAM) 시스템을 헌신적으로 활용하여 정비를 수행하는 다기능 정비기술자와 더불어 5S 프로세스, 주간 카이젠(Kaizen) 개선 활동, 자주보전(Autonomous Maintenance)을 사용하는 자율경영팀에 의해 실행된다. 그들은 적기공급생산(JIT) 기반으로 부품과 재료를 공급하는 분산된 린 메인テナンス/유지보수정비(MRO) 창고에 의해 지원받으며 근본고장원인분석(RCFA), 고장 부품 분석, 정비질차 효과도 분석, 예측정비(PdM) 분석, 상태감시결과 추세 및 분석을 수행하는 정비성/신뢰성 엔지니어링 그룹이 그들을 뒷받침한다.”

그리고 Ricky Smith는 린 메인テナンス를 달성하기 위한 관리 체계를 Fig. 4와 같이 제시하였다[8].



[Fig. 4] The maintenance management pyramid.

Fig. 4에서 제시된 린 메인テナンス 수행을 위한 방법론과 도구는 지속적 개선(Continuous Improvement), 종업원 존중(Employees The most Valuable Asset), 자주보전(Autonomous maintenance), 신뢰도중심정비(Reliability Centered Maintenance), 예측정비(Predictive Maintenance), 근본원인분석(Root Cause Analysis), 메인テナンス 엔지니어링(Maintenance Engineering), 재료(저장품) 관리(Materials(Stores) Management), 설비관리정보시스템(CMMS, Computerized Maintenance Management System), 생산계획 및 일정관리(Planing and Scheduling), 전사적생산보전(Total Productive Maintenance), 작업지시시스템(Work Oder System), 예방정비(Preventive Maintenance) 이다.

이 중에서 신뢰도중심정비, 근본원인분석, 예방정비, 예측정비, 설비관리정보시스템 등과 같이 몇몇 방법론과 도구는 ILS 분야에서 사용되고 있다.

Ricky Smith가 제시한 린 메인テナンス 정의 및 관리체계는 린 메인テナンス 개념을 직관적으로 이해하기가 어렵다는 점에서 한계가 있다.

또한 민수 측면의 린 메인テナンス는 제조/생산 설비시스템의 효율적인 유지보수를 위해 낭비제거를 강조하는 반면, 무기시스템은 전시 또는 평시에 즉각적으로 임무(Mission) 수행이 가능하도록 정비 행위를 통해 반드시 장비를 정상적으로 유지해야하는 특성이 있으므로 민수 측면의 린 메인テナンス는 군수 측면에서는 적용에 한계가 있다고 생각된다.

따라서 본 논문에서는 린 메인テナンス를 직관적으로 이해하기 쉬우며, 무기체계의 전투준비태세(운용가용도), 지원성 등 무기체계의 특성을 고려한 ILS 린 메인テナンス 프레임워크를 제시한다.

2.4 ILS 린 메인テナンス 프레임워크

앞서 살펴 본 린 및 민수 측면의 린메인テナンス 개념 그리고 ILS 이론을 검토/분석/종합하여 군수 측면의 ILS 린 메인テナンス 프레임워크를 Fig. 5와 같이 제시한다.

Fig. 5는 ILS 측면의 린 메인テナンス 개념과 수행 방법을 직관적으로 이해하는 데 도움이 될 것이다.

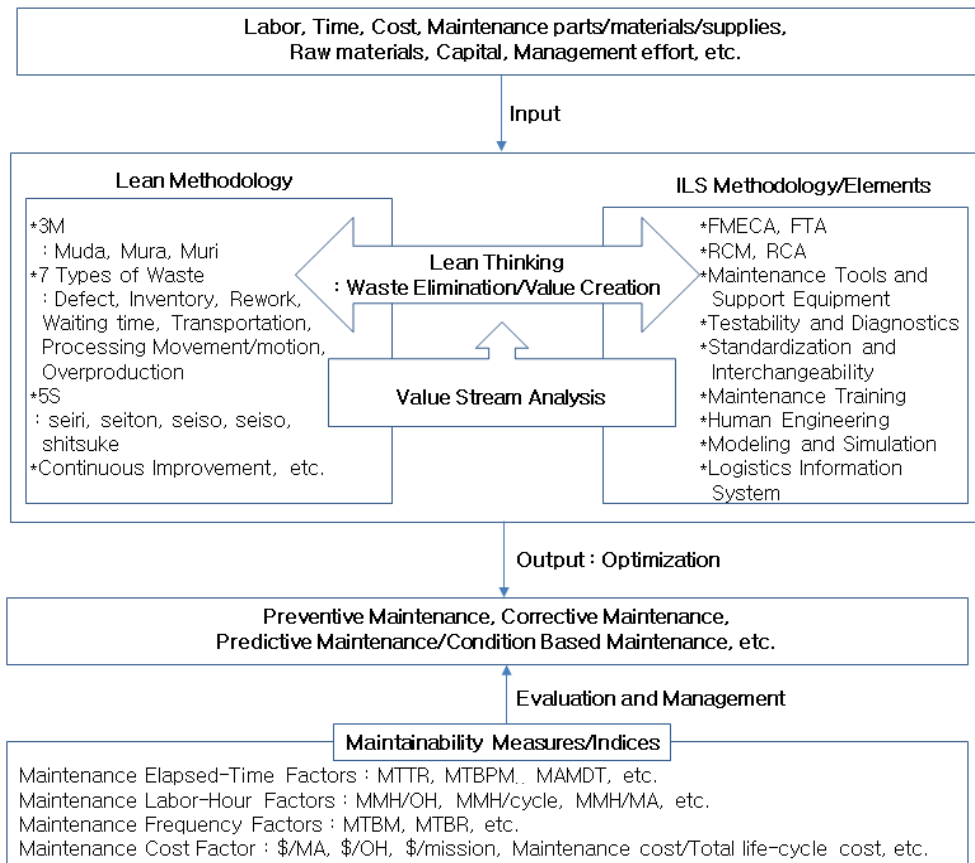
ILS 린 메인テナンス 프레임워크에서 투입물은 무기체계의 운용유지와 관련된 인력, 시간, 비용, 정비 부품/재료/보급품, 원재료, 자본, 관리적 노력 등이며 이는 낭비 없이 최대한 효율적으로 투입되어야 한다.

ILS 측면의 린 메인テナンス는 린 개념의 핵심인 린 사고와 가치흐름분석 기반하에 린 방법론, ILS 방법론 적용 및 ILS 요소 개발을 통하여 무기체계의 정비와 관련된 낭비를 제거하고 관련 프로세스를 지속적으로 개선하여 정비성을 최적화하는 것이다.

또한 린 메인テナンス 수행시 정비성 척도(정비와 관련된 시간, 인력, 빈도, 비용 등)를 설정하여 린 수행 성과를 정량적으로 평가하고 관리하여야 한다.

정비성 측면에서 적용 가능한 린 방법론으로는 3불, 7대 낭비, 5S 활동, 지속적 개선 등이 있다. 정비성과 관련된 ILS 방법론으로는 고장유형 영향 및 치명도 분석, 고장계통분석, 신뢰도중심정비, 근본원인분석, 인간공학, 표준화 및 호환성, 모델링&시뮬레이션 등이 있으며 ILS 요소로는 공구 및 지원장비, 정비교육/훈련, 군수정보시스템 등이 있다. 린 방법론과 ILS 방법론/요소는 린사고와 가치흐름분석 기반하에 상호 보완하여 적용할 수 있다.

예를 들면, 신뢰도중심정비 분석을 통해 예방정비업무 도출시 3불과 7대 낭비의 관점에서 안전, 비용, 불가동시간(Down Time) 등을 고려하여 과도하거나 너무 적은 예



[Fig. 5] ILS Lean Maintenance Framework.

방정비업무가 선정되지 않도록 해야 하며 또한 반드시 수행해야 하는 예방정비업무가 누락되지 않도록 해야 한다.

결국 ILS 린 메인テナンス의 수행 목표는 정비 프로세스를 최적화하여 무기체계의 운용가용도를 향상시키고 운용유지비를 절감하는데 있다.

2.5 ILS 린 메인テナンス 전략

앞서 살펴본 이론적 배경 지식과 여러 무기체계 프로젝트 개발경험, 제안서 작성 경험에 기초하여 프로젝트 수행간 발생했던 ILS 요소 개발의 문제점, 미비점, 미해결 사항 등에 대한 대안 제시 및 ILS 분야의 발전을 위해 ILS 측면의 린 메인テナンス 전략을 다음과 같이 제시한다.

① 효율적인 예방정비 수행

: 과도하거나 불필요한 예방정비 식별/검토/수정, 적

절한 예방정비주기 선정, 장비 및 인력의 안전과 관련된 예방정비 누락 방지

② 근본고장원인분석 수행 강화

: 반복적 고장이 발생하지 않도록 근본고장원인 분석(RCA), 고장유형 영향 및 치명도 분석(FMECA), 고장계통분석(FTA) 강화 및 고장원인 분석결과를 장비 설계/제조 피드백 수행

③ 정비성 설계 강화

: 시험 및 진단, 수리부속 교환이 용이하도록 설계 반영, 최대한 표준화 및 호환성 고려하여 부품 선정 및 장비 설계, 사람과 장비의 안전을 위한 설계 강화, 사람의 실수나 잘못된 장비 사용으로 인한 유발고장(induced failures)을 최소화 할 수 있도록 설계

- ④ 최신 정비성 설계 도구(Design Tools) 활용
: 정비성과 관련된 인간공학, 모델링&시뮬레이션, 가상현실 등 최신 기법 적극 활용
- ⑤ 비용 효과적 지원장비 개발
: 경제성, 사용 빈도 및 소요군 활용성 등을 고려하여 과도하거나 과도한 지원장비(일반공구, 특수공구, 측정기, 시험장비, 정비장비 등) 개발 사양
- ⑥ 효과적인 수리부속 관리 체계 구축
: 적층률 높은 동시조달수리부속(CSP, Concurrent Spare Parts) 산출, 장기재고품 작동 검사를 통한 수리부속 유지관리, 단종을 대비한 수리부속보유 대책 및 확보
- ⑦ 무기체계별 정비정보관리시스템 구축 및 정비이력 데이터 활용
: 철저한 정비 이력관리 수행, 이력 데이터를 정비계획 및 수리부속품 관리 등에 활용할 수 있도록 피드백, 린 의사결정시 이력 데이터 활용
- ⑧ 지속적인 정비 교육 및 소요군 정비 능력 강화
: 초도배치/OJT 교육 강화, 정기적인 업체 순환 교육 수행, 업체 전문기술 및 창정비 능력 지원 교육
- ⑨ 적절한 아웃소싱 및 외부 계약(자) 활용
: 계약업체 군수지원제도(CLS, Contractor Logistics Support), 성과기반군수(PBL) 제도 활성화
- ⑩ 무기 시스템의 정비서비스 강화와 비용절감을 위해 정비성 프로그램(Maintainability Program)을 수행하려는 의지 확립

위와 같은 메인テナンス 전략을 수행하기 위해서는 무기 개발 초기부터 개발업체, 소요군, 여러 관련 기관이 함께 정비성 프로그램을 세우고 적극적으로 실행하는 것이 최우선이다.

위에서 제시한 전략들은 린을 적용할 수 있는 분야에 대한 아이디어를 제시해준다. 본 논문에서는 제시된 전략을 기초로 하여 린을 실천할 수 있는 여러 가지 분야 중 예방정비 린 사례를 검토하여 제시한다.

2.6 OO레이더체계 린 예방정비(PM) 사례 분석(금속형 필터)

2.6.1 예방정비주기 타당성 검토

린 관련 사례는 20XX년에 개발 완료된 OO체계의 하부 체계인 OO레이더체계의 정비 업무 사례 중에서 금속형 필터의 예방정비 업무를 선정하였다.

필터는 장비의 먼지를 방지하는 제품으로서 OO레이더체계에 적용된 필터는 크게 스펀지형 필터와 금속형 필터로 나뉜다. 스펀지형 필터는 상용 공기청정기 필터처럼 설정된 주기에 따라 반드시 교환해 주어야 하지만 금속형 필터는 통상적으로 오염시 세척 후 재사용하는 품목이다. 그러나 OO레이더체계 ILS 자료를 검토해보면 고장유형, 영향 및 치명도 분석 등의 분석 결과와 관계 없이 관계 기관의 협의 결과를 바탕으로 금속형 필터의 교환주기를 일괄 5년으로 설정하였다. 금속형 필터는 기 설정된 연간 1회의 주기적인 세척(먼지 제거 등)을 통해 충분히 장기간 사용 가능한 품목이다.

린 사례 분석에 앞서, 금속형 필터의 예방주기 설정이 타당한지 알아보기 위해 Table 3의 고장유형 영향 및 치명도 분석(FMECA) 데이터를 검토하였다. 고장유형 및 치명도 분석의 기준 문서는 MIL-STD-1629A(Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) 이다.

Table 3 고장유형, 영향 및 치명도의 고장 및 손상영향(Failure Effects) 내용을 보면, 금속형 필터 고장시 차상위 품목인 안테나와 최상위 품목인 레이더의 기능이나 임무에 영향이 없음을 알 수 있다. 또한 위험도 부호(Severity Class) 4로 경미(Negligible)한 수준 즉 '상해, 자산 손상, 경상을 일으킬 정도로 심각하지 않은 고장이지만 비계획 정비 또는 수리를 요하는 고장'을 나타내는 것으로 분석되었다.

또한 백만시간당 고장율(고장횟수/10⁶시간) 값이 0.41로 매우 낮다. 백만시간을 년으로 환산하면 약 114년 이므로 수명주기동안 금속형 필터 고장이 발생할 확률은 거의 없다. 금속형 필터의 고장율 값은 비전자부품의 고장율 데이터베이스 자료인 NPRD-95 (Non-electric Part Reliability Data 1995)에 근거하였다. 치명도(Criticality) 분석은 고장유형 및 영향 분석에서 식별된 고장유형 및 원인에 대하여 상대적인 치명도 값을 산출한 후 위험도가 높은 품목 즉, 고장율이 높고 동시에 고장영향이 큰 품목을 선정하여 필요시 설계에 반영하는

[Table 3] Example of FMECA

Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)														
										DATE :		201X-XX-XX		
ELAC	xxx	LCN	xxx	ALC	00	TYPE	P	MTBF	1213592.23		UNIT OF MEASURE	O		
ITEM NAME		FILTER Assembly												
FMI	Failure Mode	Cause of Failure	Failure Effects			Failure Detection Method	Mission Phase	Severity Class	Failure Effect Probability (β)	Failure Mode rate (α)	Failure Rate (λ)	Operating Time (t)	Failure Mode Criticality	Item Criticality
			Local Effects	Next Higher Level	End Effects									
FAAA	Damaged Filter	shocks, Vibration, Corrosion, Wear etc.	Difficult to prevent dust	Antenna is Not affected	There is no impact on Radar Mission	Visual Inspection	E	4	1.00	1.000	0.41	3,120	1285.440	1285.440

업무이며 분석결과는 신뢰도중심정비 및 정비업무 선정을 위한 기초자료로 활용된다.

고장유형별 치명도(Failure Mode Criticality) 계산식은 식(1)과 같다.

$$Cm = \beta \times \alpha \times \lambda \times t \quad \text{식(1)}$$

- β : 고장 영향 확률
- α : 고장 유형비
- λ : 부품 고장율
- t : 운용시간

고장영향확률은 분석대상 고장유형에 따른 고장 발생 시 고장의 영향으로 인하여 할당된 위험도 부호에 해당하는 결과를 일으킬 조건부 확률로써 분석자의 판단에 의해 결정하는 항목이며, 필터 조립체(FILTER Assembly)는 1가지 고장유형(FMI, Failure Mode Indicator)만 존재하므로 조건부 확률식으로 계산시 1.0으로 산출된다. 고장유형비는 분석 대상품목의 고장유형에 대한 부품 고장율의 비율을 나타내며, 필터 조립체는 1가지 고장유형만 존재하므로 고장유형비는 1.0으로 계산된다. 부품고장율은 금속형 필터의 고장율 0.41을 적용하였고, 운용시간은 레이더체계의 연간 운용시간 3,120시간을 적용하였다.

Table 3에서 금속형 필터의 품목 치명도(Item Criticality) 산출결과는 1285.440로 아주 낮게 분석되었다. 종합해 볼 때, 금속형 필터의 고장은 상위 품목의 기능이나 임무에 영향을 미치지 않고, 위험도 및 고장율이 매우 낮으며 치명적이지 않은 품목임을 알 수 있다.

따라서 통상 10~15년 주기인 장정비(Overhaul) 시기에 금속형 필터를 일괄 점검하여 만약 손상된 필터가 있다면 교체하는 방안이 있음에도 5년마다 필터를 교환하

는 것은 낭비라고 할 수 있다.

본 연구에서는 금속형 필터 5년주기 예방정비에 대하여 정비 시간, 정비 인시, 정비 비용 3가지 측면에서 린 사례를 분석한다. 00레이더 체계의 배치대수는 9대, 수명 주기는 00체계의 평균 수명인 30년을 가정하였다.

2.6.2 정비 시간 분석

정비 시간(Maintenance Time)은 각 정비업무(Maintenance Task)의 수리 시간(Repair Time)에 정비업무가 발생하는 빈도(Task Frequency)를 곱한 값이며 계산식은 식(2)와 같다.

$$\text{Maintenance Time} = \sum \text{Task Frequency} \times \text{Repair Time} \quad \text{식(2)}$$

금속형 필터는 5년 주기 교환 품목이므로 연간 정비업무빈도는 0.2이다. 수리시간은 각 금속형 필터 교환 업무에 대한 정비업무분석 결과를 반영하였다. 그리고 수리 시간에는 정비요원이 공구를 준비하는 시간, 수리부속을 준비하는 시간, 장비가 있는 곳까지 이동하는 시간, 정비교범을 보면서 정비절차를 미리 확인하는 시간 등 정비를 위한 준비시간은 포함하지 않았으며 오직 순수하게 정비 행위만 하는 시간을 계산하였다. 참고로 Table 4에서 정비업무명이 동일한 품목(3,4,5,6번)은 해당 품목이 조립되어있는 상위 조립체가 다르거나 장착 위치가 다르기 때문에 각각 식별하여 정비시간을 계산하였다. 또한 같거나 비슷한 위치에 있는 필터는 정비 행위시 한꺼번에 교환 업무를 수행하므로 필터의 수량을 정비업무별로 표시하였다.

[Table 4] Analysis of maintenance time

No.	Maintenance Task Name	Task Frequency (TF)	Repair Time (RT)	Maintenance time (MT)
1	REPLACEMENT :FILTER, EMI, ANTENNA (Quantity : 4)	0.2	1.60	0.32
2	REPLACEMENT :FILTER, EMI, AZIMUTHANGLE DRIVE UNIT (Quantity : 1)	0.2	0.50	0.10
3	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 1)	0.2	0.19	0.04
4	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 4)	0.2	0.39	0.17
5	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 1)	0.2	0.15	0.03
6	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 2)	0.2	0.42	0.08
7	REPLACEMENT :FILTER, EMI, ENVIRONMENTAL CONTROL GROUP (Quantity : 2)	0.2	1.52	0.30
Total				0.95

Table 4의 분석결과 금속형 필터류의 연간 정비시간은 0.95시간이며 여기에 수명주기동안의 정비횟수(평균 수명×년간 정비업무빈도=30년×0.2회=6회) 및 보급 대수(9대)를 곱하여 계산한 결과는 51.3시간 이다. 이 시간은 실제로 수행하지 않아도 되는 낭비적인 시간이라고 할 수 있다. 여기에 정비를 위한 준비시간을 포함하면 낭비되는 시간은 훨씬 늘어난다. 또한 OO레이더체계는 OO 무기체계 전체 시스템 중 20~30% 비중을 차지하고 있기 때문에 전체 시스템 차원에서 금속형 필터의 예방정비시간을 계산한다면 낭비되는 시간은 분석결과와의 3~4 배 이상으로 추정된다.

2.6.3 정비 인시 분석

소요인시(Man-Hours)는 정비요원 한 사람이 한 시간 동안 할 수 있는 작업량을 표시하는 작업량의 측정 단위이다. 그러나 정비요원별로 능력의 차이가 있기 때문에 본 연구에서는 숙련공 한 사람이 한 시간 동안 작업할 수 있는 작업량을 1인시라 가정한다. 정비 난이도 등으로 인해 정비인원이 많이 투입되는 정비업무일수록 정비 인시(Maintenance Man-Hours)는 늘어나게 된다. 정비 인시는 정비업무빈도에 소요인시를 곱하여 계산하며 식(3)과

같다.

$$Maintenance\ Man-Hours = \sum Task\ Frequency \times Man-Hours \quad \text{식 (3)}$$

[Table 5] Analysis of maintenance man-hours

No.	Maintenance Task Name	TF	RT	MT	Mainten-ance Personnel	Man-Hours	Mainten-ance Man-Hours
1	REPLACEMENT :FILTER, EMI, ANTENNA (Quantity : 4)	0.2	1.60	0.32	2	3.20	0.64
2	REPLACEMENT :FILTER, EMI, AZIMUTHANGLE DRIVE UNIT (Quantity : 1)	0.2	0.50	0.10	2	1.00	0.20
3	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 1)	0.2	0.19	0.04	2	0.38	0.08
4	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 4)	0.2	0.39	0.17	2	0.78	0.16
5	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 1)	0.2	0.15	0.03	2	0.30	0.06
6	REPLACEMENT :FILTER, EMI, CABINET (Quantity : 2)	0.2	0.42	0.08	2	0.84	0.17
7	REPLACEMENT :FILTER, EMI, ENVIRONMENTAL CONTROL GROUP (Quantity : 2)	0.2	1.52	0.30	2	3.03	0.61
Total							1.90

분석결과 금속형 필터류의 연간 정비인시는 1.90시간이며 여기에 수명주기동안의 정비횟수(6회) 및 보급 대수(9대)를 곱하여 계산한 결과는 102.8시간이다. 투입되는 정비인원이 각 2명이므로 정비 인시는 정비 시간의 2 배로 계산되었다.

2.6.4 정비 비용 분석

정비 비용(Maintenance Cost)은 수량에 단가를 곱하여 계산하였다. 필터 종류에 따라 단가가 다르므로 필터 1개씩에 대하여 비용을 분석하였다.

Table 6의 분석결과를 보면, 금속형 필터의 연간 예방 정비 비용은 1,321,518원이며 여기에 수명주기동안의 정비횟수(6회) 및 보급 대수(9대)를 곱하여 계산한 결과는 71,361,961원이다. 이 금액은 실제로 집행되지 않아도 되는 낭비적인 비용이다. OO레이더 체계를 포함한 전체 시

시스템 차원에서 금속형 필터의 정비 비용을 계산한다면 낭비되는 금액은 분석결과의 3~4배 이상으로 추정되며 이는 상당한 낭비라고 여겨진다.

[Table 6] Analysis of maintenance costs

No.	Item Name	Quantity	Unit Price (WON)	Total Cost (WON)
1	FILTER, EMI, ANTENNA	2	23,976	47,952
2	FILTER, EMI, ANTENNA	2	77,875	155,750
3	FILTER, EMI, AZIMUTHANGLE DRIVE UNIT	1	178,589	178,589
4	FILTER, EMI, CABINET	1	79,535	79,535
5	FILTER, EMI, CABINET	1	68,320	68,320
6	FILTER, EMI, CABINET	1	68,320	68,320
7	FILTER, EMI, CABINET	1	68,320	68,320
8	FILTER, EMI, CABINET	1	68,320	68,320
9	FILTER, EMI, CABINET	1	79,535	79,535
10	FILTER, EMI, CABINET	1	79,535	79,535
11	FILTER, EMI, CABINET	1	79,535	79,535
12	FILTER, EMI, ENVIRONMENTAL CONTROL GROUP	1	176,524	176,524
13	FILTER, EMI, ENVIRONMENTAL CONTROL GROUP	1	171,285	171,285
Total				1,321,518

2.5.5 분석 결과 종합 및 대책

OO레이더 체계 금속형 필터의 5년주기 예방정비업무를 낭비제거 관점에서 정비 시간, 정비 인시, 정비 비용 3가지 측면으로 분석하였다. 낭비되는 정비시간은 약 51시간, 낭비되는 정비 인시는 약 103시간, 낭비되는 정비 비용은 약 71,360,000원으로 분석되었다.

위와 같은 낭비 사례를 방지하기 위해서는 신뢰도중심정비 분석에서 결정되는 품목별 예방정비주기에 대하여 고장유형 영향 및 치명도 분석 결과를 바탕으로 타당성을 검증해야 한다. 또한 설정된 예방정비 주기대로 업무를 수행할 경우 발생하는 낭비적인 시간, 인시, 비용 등을 추정한 후 낭비로 판단하여 정비주기를 재설정 할지 아닌지에 대한 의사결정 프로세스를 거쳐야 한다.

2.7 종합군수지원 린 메인テナンス 추진 방향

지금까지 린 예방정비 사례를 살펴보았다. 사례 분석은 주로 시간, 인시, 비용 관점에서 낭비 위주로 검토되었

다. 그러나 단지 낭비제거에만 초점을 맞춘 ‘린’ 응용 사례와 시각은 위험하며 한계가 있다.

무조건 줄이고, 삭감해서 정비와 관련된 비용을 줄이는 것이 ILS 린 메인テナンス는 아니다. 예를 들면 과도한 예방정비는 비용, 일정 측면에서 당연히 낭비이지만 너무 적은 예방정비는 장기간 운용 유지되는 무기체계의 특성상 결국 장비의 고장과 손실로 이어져 불가동시간을 늘리기 때문에 크나큰 낭비이다. 지원장비(공구/정비장비 등) 및 예비품/수리부속품의 과도한 지원은 낭비이지만 충분하지 못한 지원장비와 예비품/수리부속품은 제때 정비를 하지 못하게 하여 무기체계의 운용가용도를 낮추고 전투준비태세를 저하시키므로 엄청난 낭비인 셈이다.

다른 한편으로 장비의 고장 원인을 살펴보면 실제 고장보다는 오히려 정비를 위해 장비를 분해/조립하면서 부품이 손상되거나, 장비를 잘못 조립하여 고장이 발생하는 경우가 많다. 따라서 무기체계 개발시 고장이 최소화 되도록 신뢰성 있는 장비를 개발하는 것도 중요한 반면, 정비 행위를 최소화하여 정비 효율성을 높이도록 정비계획을 세우는 것 역시 아주 중요하다.

Joel Levitt은 린 메인テナンス란 “가능한 최소한의 낭비로 고객에게 정비 서비스를 제공하거나 또는 가능한 최소한의 투입으로 바람직한 정비 산출물을 만들어 내는 것이다”라고 정의하였다[9].

결국 무기체계의 린 메인テナンス는 전투준비태세 확보, 장기적인 운용유지 등 무기체계의 고유한 특성을 고려해 볼 때 낭비제거 관점에서만 접근해서는 안되며, Joel Lvitt의 린 메인テナンス 정의 내용 중 ‘바람직한 정비 산출물을 만들어 내는 것’에 중점을 두어 수행되어야 한다. 또한 린 메인テナンス를 통해 무기체계의 정비 프로세스 최적화, 불가동시간의 감소, 정비와 관련된 바람직한 비용 절감 등을 달성해야 한다.

3. 결론

본 논문에서는 ILS 측면의 린 메인テナンス 프레임워크 및 정비 전략을 제시하였다. 이는 민수 측면의 린 메인テナンス 개념을 무기체계의 특성에 적합한 군수 측면의 린 메인テナンス 개념으로 새롭게 제시하였다는 것과 향후 관련 모델을 발전시켜나갈 수 있는 아이디어 및 기본틀을 제시하였다는데 의의가 있다고 생각된다.

또한 OO레이더 체계 금속형 필터의 린 예방정비 사례를 분석하였다. 사례 분석에 앞서 고장유형 및 치명도 분석 자료를 근거로 금속형 필터의 5년주기 예방정비 설정의 타당성을 검토하였다. 검토 결과 금속형 필터 고장시 상위 품목의 기능이나 임무에 영향이 없었고, 위험도 부호 4로 경미한 수준의 고장임을 알 수 있었다. 또한 고장율이 0.41로 매우 낮았고, 치명도값은 1285.440로 치명적인 품목이 아닌 것으로 분석되어 5년주기 예방정비는 타당하지 않은 것으로 판단하였다. 5년주기 예방정비를 수행할 경우를 기준으로 정비시간, 정비 인시, 정비 비용 3가지 측면에서 린 사례를 분석한 결과 낭비되는 정비시간은 약 51시간, 낭비되는 정비 인시는 약 103시간, 낭비되는 정비 비용은 약 71,360,000원으로 추정되었다.

향후에는 기존 무기체계의 다양한 낭비 사례들이 수집, 분석되어 사례가 공유될 수 있는 기회를 만들도록 노력해야 하며 이를 토대로 무기체계 군수지원분야의 개선 방향을 연구할 필요가 있다.

또한 ILS 린 메인テナンス 개념을 더욱 발전시켜야하며 이러한 이론적 바탕위에 운용가용도 향상, 정비효율성 증대 및 정비유지 비용 감소를 위한 지원성 전략과 정책을 세우고 추진할 필요가 있다.

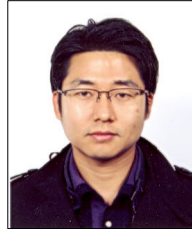
References

- [1] United States Government Accountability Office, Defense Budget : Trends in Operation and Maintenance Costs and Support Services Contracting, p.8, 2007
- [2] John W.Langford, Logistics : principles and applications, p.265, McGraw-Hill, 1995
- [3] Benjamin S. Blanchard, Logistics Engineering and Management, p.468, PrenticeHall, 2003
- [4] JAT&L, Life-Cycle Sustainment Plan Sample Outline, Version 1.0, p.10. AT&L, 2011.9.14
- [5] ILS Guide Book, Defense Acquisition Program Administration, p.19, 2013
- [6] Nam yeoung hak, Lean Management Innovation, Future & Management Co.,Ltd, 2009
- [7] R. Smith, What is lean maintenance, Available online : <http://www.mt-online.com/october2004/what-is-lean-maintenance>
- [8] Ricky Smith, Bruce Hawkins, Lean Maintenance : Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share, p.263, Butterworth-Heinemann, 2004

- [9] JOEL LEVITT, "LEAN MAINTENANCE", p.XII, Industrial Press, Inc., 2008

임 재 훈(Jae-Hoon Lim)

[정회원]



- 2002년 2월 : 성균관대학교 시스템 경영공학 (학사)
- 2004년 2월 : 성균관대학교 산업공학 (석사)
- 2004년 12월 ~ 현재 : LIG넥스원 (주) 선임연구원

<관심분야>
종합군수지원, 체계공학

서 양 우(Yang-Woo Seo)

[정회원]



- 1998년 2월 : 홍익대학교 전기공학과 (학사)
- 1998년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원 (주) 수석연구원

<관심분야>
종합군수지원, 체계공학