www.kudu.ac.kr
www.kndu.ac.kr/rinsa

2018 안보연구시리즈
제 5 권 제 4 호

국방과학기술과 무기체계

1. SE 기반 무기체계 연구개발 절차 및 엔진 수명관리 기법 연구
2. 국방무기체계 사업관리 교육과정 발전방안
3. 국방정보체계 사업관리 교육과정 발전방안
4. 분석평가 업무의 전문성 및 객관성 향상방안

RINSA
국방대학교
국가안전보장문제연구소

2018 안보연구시리즈 제5권 제4호

국방과학기술과 무기체계

인쇄 2018년 12월 31일
발행 2018년 12월 31일

발행처 국가안전보장문제연구소
발행인 국가안전보장문제연구소장

주소 33021 충청남도 논산시 양촌면 황산벌로 1040
전화 TEL 041-831-6411~5 / FAX 02-748-7588
홈페이지 https://www.kndu.ac.kr
https://www.kndu.ac.kr/rinsa

디자인 및 인쇄 백두디자인건설(주) TEL 041-363-6000

ⓒ국가안전보장문제연구소 2018

비매품
ISSN 2586-5323

1. 본 연구보고서 내용은 연구진의 개인적인 견해이며 소속기관의 공식적인 견해가 아닙니다.
2. 본 연구보고서는 정책입안 시 참고자료로만 활용하고 타 기관에 불필요한 자료유출을 삼가주시기 바랍니다.

발간사

올 한해는 4.27판문점선언, 6.12북미정상회담, 그리고 9.19평양공동선언 등에 의해, 북한의 비핵화와 한반도 평화체제의 구축이 모색되고 있는 역사적인 해라고 할 수 있을 것입니다. 그리고 이와 같은 한반도 안보환경의 격변에 관한 수많은 분석과 해설을 담은 글들이 쏟아졌습니다. 매우 유동적인 상황과 제한된 정보들을 고려할 때, 그와 같은 수많은 글들의 생명력은 매우 짧았습니다. 부정확한 정보를 근거로 작성된 많은 추론들은, 새로운 정보에 의해 바로 부정되어졌던 것입니다.

이렇게 본다면 시사적인 논평과 해설의 역할은 물론 중요하지만, 사안의 본질을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 역시 여러 이슈에 대한 보다 깊이 있고 체계적인 연구가 중요하다고 생각됩니다. 이와 같은 생각에 입각하여 국방대학교 안보문제연구소에서는 매년 국방부, 합참, 각 군 본부의 의견수렴을 바탕으로, 보다 근본적이고 거시적인 분석이 필요한 주제를 선정하여, 관련 분야의 저명한 학자 및 전문가들에게 심층적인 연구를 의뢰함으로써 향후 정책 개발 및 대안 제시에 유용하게 활용될 수 있도록 노력하고 있습니다. 올해는 외교안보와 북한, 국방정책과 군사전략, 국방관리 및 군 수혁신, 국방과학 등 4개 대주제를 중심으로 16개의 기초과제를 선정하여 양질의 연구를 수행하여 그 결과를 안보시리즈로 발간하게 되었습니다.

모쪼록 이러한 연구결과가 안보 관련 부처의 정책 개발 및 집행과정에 필요한 유용한 아이디어를 제공하고, 참고자료로 다양하게 활용될 수 있기를 기원합니다. 끝으로, 바쁘신 가운데에도 열과 성을 다해 연구를 수행해주신 교내외 연구진들에게 감사의 말씀을 전합니다.

2018년 12월

국방대학교 국가안전보장문제연구소장 **김 준 섭**

차 례
CONTENTS

1. SE 기반 무기체계 연구개발 절차 및 엔진 수명관리 기법 연구 /신기수, 최주호 **1**

[1] SE 기반 무기체계 연구개발 절차 연구 1
Ⅰ. 연구개요 1
Ⅱ. 체계공학 일반 3
Ⅲ. 개념개발 단계의 주요 수행 업무 8
Ⅳ. 우리군의 체계공학 적용 문제점 13
Ⅴ. SE 기반의 무기체계 연구개발 절차 18
Ⅵ. 결론 20

[2] 엔진 수명관리 기법 연구 21
Ⅰ. 서론 21
Ⅱ. 항공기 엔진에의 PHM 적용 33
Ⅲ. 결론 64

2. 국방 무기체계 사업관리 교육과정 발전방안 / 마정목 **67**

Ⅰ. 연구개요 67
Ⅱ. 무기체계 사업관리 이론 69
Ⅲ. 무기체계 사업관리 교육 현실태 분석 90
Ⅳ. 무기체계 사업관리 교육방안 제시 107
Ⅴ. 결론 113

3. 국방정보체계 사업관리 교육과정 발전방안 / 강동수 **119**

Ⅰ. 연구개요 119
Ⅱ. 환경 분석 121
Ⅲ. 정보체계 사업관리 교육 프로그램 진단 및 분석 128

Ⅳ. 국방정보체계 사업관리 교육 프로그램 136
Ⅴ. 결론 149

4. 분석평가업무의 전문성 및 객관성 향상반안 / 김수환 **155**

Ⅰ. 서 론 155
Ⅱ. 분석평가 업무의 범위 158
Ⅲ. 분석평가 방법론 164
Ⅳ. 국내 외 분석평가 교육기관 현황 176
Ⅴ. 분석평가 업무의 전문성 향상방향 191
Ⅵ. 결론 193

SE 기반 무기체계 연구개발 절차 및 엔진 수명관리 기법 연구

| 국방대학교 **신 기 수,** 항공대학교 **최 주 호**

1 SE 기반 무기체계 연구개발 절차 연구/신기수
Ⅰ. 연구개요
Ⅱ. 체계공학 일반
Ⅲ. 개념개발 단계의 주요 수행 업무
Ⅳ. 우리군의 체계공학 적용 문제점
Ⅴ. SE 기반의 무기체계 연구개발 절차
Ⅵ. 결론

2 엔진 수명관리 기법 연구/최주호
Ⅰ. 서론
Ⅱ. 항공기 엔진에의 PHM 적용
Ⅲ. 결론

1 SE 기반 무기체계 연구개발 절차 연구 / 신기수

Ⅰ. 연구개요

우리가 이미 인식하고 있듯이 4차 산업혁명 시대[1]는 이전에 인류가 경험하여왔던 산업혁명과는 비교도 안될 만큼 넓은 분야에 영향을 끼치게 될 것이다. 특히 4차 산업혁명 시대의 핵심적인 가치인 '창의성'[2]은 기존의 '대량 생산' 또는 '맞춤형 생산' 등과는

1) 제4차 산업혁명, The Fourth Industrial Revolution '인공지능, 사물 인터넷, 빅데이터, 모바일 등 첨단 정보통신기술이 경제 사회 전반에 융합되어 혁신적인 변화가 나타나는 차세대 산업혁명…' (한국정보통신기술협회 Homepage)

2) 미래한국. (2016). "4차 산업혁명 위한 인재를 양성하라 : 4차 산업혁명 시대에는 제조업, 사무직 등의 분야의 일자리가 크게 줄어들고, STEM 분야에서 새로운 일자리들이 생겨날 전망이다. 다보스 포럼은 복잡한 문제를 푸는 능력, 비판적 사고, 창의력 등을 갖춘 인재가 4차 산업혁명을 주도할 것으로 전망하고 있다.", 7월 20일.

확연히 다른 개념이다. 최근 국내에서도 각종 심포지엄이나 컨퍼런스를 통해 이러한 새로운 패러다임을 다양한 연구개발 분야에 적용하기 위해 노력하고 있다.

창의성을 새로운 시스템 개발에 접목하고자 하는 노력은 미래 전장을 준비해야하는 국방 분야도 예외가 아니다. 우리군은 이미 2015년부터 창의적인 무기체계 개발을 위한 아이디어를 공모하는 등 창의적인 무기체계 개발을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 최근에는 드론봇 전투단을 창설[3]하는 등 새로운 개념의 전력 건설을 위한 노력을 계속하고 있다.

그러나 전쟁이 시작된 아주 오래전부터 새로운 무기체계의 개발 목적이 적보다 우세한 전력을 갖추기 위한 것이었다. 그러므로 창의적인 무기체계 개발 노력은 매우 오래전부터 시작되었을 것이다. 그리고 '체계공학[4]'은 이러한 노력을 체계적으로 수행하기 위해 발전해왔던 학문이다.

우리군도 지난 2006년 방위사업청 개청과 더불어 제정한『방위사업관리규정』제96조(체계공학에 관한 절차의 적용)에서 "통합사업관리팀장 및 연구개발주관기관은 효율적인 연구개발을 위하여 대상 무기체계에 대한 모든 이해관계자와 총수명주기를 고려하여 체계공학에 관한 절차를 적용해야 한다."[5]라고 명시하고 있다. 이는 우리군 역시 창의적인 무기체계 개발을 위해 체계공학 적용을 의무화하고 있다는 것을 의미한다.

그러나 우리군은 체계공학 적용을 규정하고 있음에도 불구하고 체계공학이 창의적인 무기체계 개발을 위한 것이라는 인식은 부족한 실정이다. 오히려 체계공학이 단순히 Project Management(사업관리) 수행을 위한 도구중의 하나 정도로 이해하고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 강조되고 있는 창의적인 무기체계 개발을 위한 'SE 기반 무기체계 연구개발 절차'의 의미를 살펴보고 우리군에 적용방안을 제시하고자 한다.

3) 세계일보. (2018). "수송 감시 폭발물 투하… 미래 무인전투 최선봉 선다", 10월 16일.

4) Systems Engineering은 SE, 시스템공학, 체계공학, 등 다양하게 명시하고 있음. 본 연구에서는 'SE'를 주로 사용함.

5) 방위사업관리규정, 방위사업청, 방위사업청 훈령 제393호(2017. 01. 11. 개정), p52

Ⅱ. 체계공학 일반

1. 체계공학의 역사[6][7]

제 2차 세계대전 중 방산업체들은 사업 규모와 소요기술 측면에서 이전과는 차원이 다른 다수의 대형 통신시스템과 레이더 시스템 개발을 위해 노력하였다. 그리고 이러한 첨단의 대형 시스템을 개발하기 위해서는 기술 분야를 총괄하는 전문 인력이 필요하다는 것을 인식하게 되었다. 또한 연구 개발을 진행하면서 기술 활동 전체를 종합하여 미국 국방부의 기술담당자와 지속적인 의사소통도 필요하였다. 이러한 필요성에 따라 관련 임무를 수행할 전문가의 직함을 "시스템 엔지니어"로 정한 것이 최초 시스템 엔지니어의 출현 계기가 되었다[8].

이후에도 계속된 과학기술의 급격한 발전은 고성능의 비행기, 군용 레이더, 미사일, 특히 핵폭탄 등은 에너지, 재료, 정보 등의 응용에 있어 혁신을 요구하게 되었다. 이러한 혁신적인 시스템들의 공통적인 특징은 규모가 크고 복잡하며 여러 공학 분야의 병합을 필요로 한다는 점이었다. 또한 전쟁 중 긴박한 개발 일정에 대한 압박으로 인하여 프로그램 개발, 기술 조정 및 공학적 관리의 적용을 주도하는 조직을 구성하게 되었다.

대표적인 무기로는 1945년 8월 일본 히로시마에 투하되었던 원자폭탄이 있다. 1942년부터 4년간 지속된 원자폭탄 개발은 '맨해튼 프로젝트'로 명명되었으며 핵심 물리학 및 수학 과학자만 백여 명이 참여하였다. 그리고 시험시설 건설 인력을 포함하여 전체 고용인원은 최고 13만 명에 달했다. 개발책임자 역시 루즈벨트 미국 대통령에게 개발을 제안했던 '아이슈타인'이 아니었다. '로버트 오펜하이머'라는 화학 및 물리학자가 프로젝트 전체를 주도하였다.[9]

체계공학의 발전을 연대별로 살펴보면 1950년대에는 산업혁명과 2차 세계대전을 거치면서 기존 시스템의 최적화와 시스템 분석을 위해 "운용분석(Operation

6) 「함정사업에 체계공학(SE) 적용에 대한 문제점 분석 및 발전방향」 최종보고서, 국방대 안보문제연구소, 2017.12

7) 「4차 산업혁명 시대의 무기체계 연구개발」, 국방대 안보문제연구소 심층이슈분석 Vol. 2018-2., 2018.2

8) 한국생산기술연구원 엔지니어링기술센터, 「미래선도형 엔지니어링 기술개발 및 시스템엔지니어링 육성 전략 수립」 최종보고서, 2013.12.

9) 「4차 산업혁명 시대의 무기체계 연구개발」, 국방대 안보문제연구소 심층이슈분석 Vol. 2018-2., 2018.2

Analysis)"이 학문으로 발전하게 되었으며 관련 학문으로 체계공학(SE)이 탄생하였다. 1960년대에는 분업과 전문화를 위한 수석 엔지니어 제도의 일환으로 고전적 의미의 체계공학(시스템 일반 이론, 시스템적 접근 이론, 시스템 개발 프로세스 및 WBS)이 태동하였다. 이후 1970년대에는 우주항공산업을 중심으로 한 대규모 시스템 개발에서 다수의 시스템 엔지니어가 배출되었다. 이때 체계공학 관리기법이 개발되었으며, 대형 시스템의 복잡도(Complexity)와 계층구조(Hierarchy) 분석 방법도 고도화되었다. 1980년대부터는 소규모 사업에서도 많은 시스템 엔지니어가 배출되었다. 그리고 이 시기에는 각종 표준, 아키텍팅, 의사결정 시스템 및 지식기반관리시스템들도 다수 개발되었다.

이후 우주항공 산업이 축소되면서 미국 정부는 방산업체들을 통·폐합하게 된다. 이때 방산업체에 속해있던 많은 시스템 엔지니어들이 민수산업으로 옮겨가게 되었다. 그리고 이들을 중심으로 1993년 미국 시스템엔지니어링협의회(NCOSE)가 발족하였다. 1995년 NCOSE가 국제 시스템엔지니어링협의회(INCOSE[10])를 설립하고, 이를 계기로 체계공학은 지금과 같이 전 세계로 급속히 확산하게 되었다.

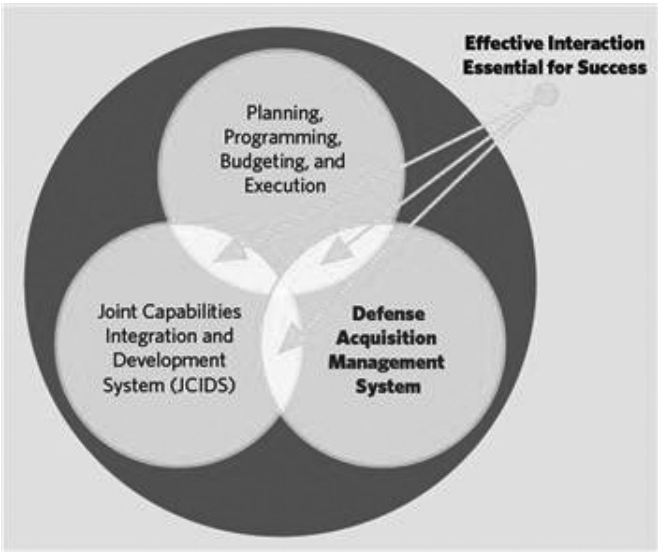
2. 미국 DoD의 무기체계 획득 절차

일반적으로 미국 DoD 무기체계획득 절차는 <그림 1-1>과 같이 미국의 획득결심지원체계는 JCIDS(Joint Capabilities Integration), PPBE(Planning, Programming, Budgeting, and Execution) 그리고 DAMS(Defense Acquisition Management System)로 구성되어있다.

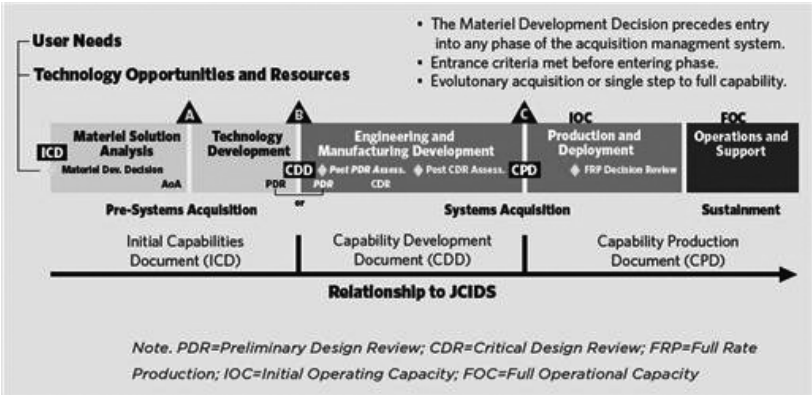
<그림 1-2>는 DAMS의 세부 프로세스와 JCIDS와의 관계를 보여준다. 그림에서와 같이 DAMS은 크게 3단계로 구분된다. 즉 Pre-Systems Acquisition, Systems Acquisition 및 Sustainment 단계로 구분되며, 각 단계는 Milestone으로 구분하고 있다.

10) INCOSE : The International Council on Systems Engineering

〈그림 1-1〉 미국 DoD Decision Support Systems[11)]



〈그림 1-2〉 The Defense Acquisition Management System[12)]



Milestone의 역할은 무기체계의 개발위험을 관리하기 위한 것이다. 새로운 무기체계를 개발한다는 것은 대부분 새로운 기술을 접목해야하는 위험을 동반하게 된다. 그러므로 연구개발을 진행하면서 다음 단계로 진전하기 전에 밝혀지지 않은 사업실패 가능 요인은 없는지 확인이 필요하기 때문이다. 만약 개발대상 무기체계의 개발위험이 현저히 낮은 경우라면 연구개발 진행 중에 개발 지속여부를 점검할 필요가 없을 것이다. 즉 이미 개발경험이 있거나 선진국에 개발하여 사용 중인 무기체계를 생산하기

11) IMPROVING DEFENSE ACQUISITION DECISION MAKING, DAU, APR 2010, p.223.
12) IMPROVING DEFENSE ACQUISITION DECISION MAKING, DAU, APR 2010, p.224.

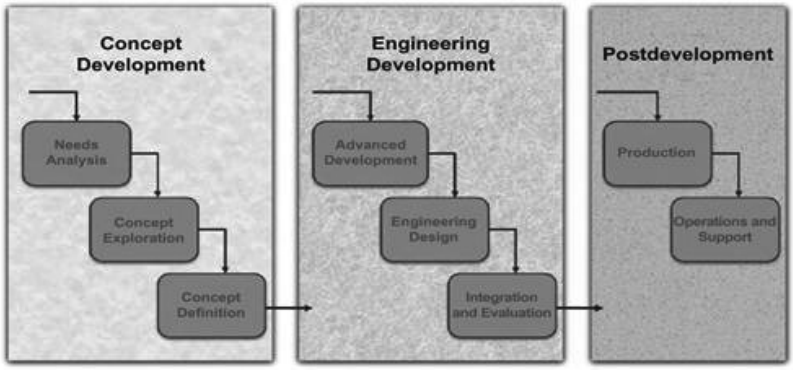
위한 경우에는 위험관리를 위한 Milestone의 의미는 미비하다고 할 수 있다.

다음 장에서는 DoD DAMS 체계에서 적용하고 있는 Milestone과 같은 위험관리 기법의 학문적 기반인 'SE Life Cycle Model'에 대해서 알아보고자 한다.

3. Systems Engineering Life Cycle Model[13]

〈그림 1-3〉은 SE Life Cycle Model을 보여주고 있다. 앞장에서 언급한 바와 같이 체계공학은 최신의 기술을 접목하여 창의적인 무기체계를 개발하기 위해 발전한 학문이다. 그리고 SE Life Cycle Model은 무기체계 개발부터 폐기까지의 수명주기 동안 체계공학 측면에서의 업무 수행절차를 제시하고 있다. 그림에서와 같이 이 모델은 크게 개념개발(Concept Development), 공학개발(Engineering Development) 그리고 개발 후(Post Development) 단계로 구성되어있다. 그리고 각각의 단계는 2개 또는 3개의 하부 단계로 구성되어 총 8개의 업무 프로세스로 구성되어있다. 즉 개념개발 단계는 소요분석(Need Analysis), 개념탐색(Concept Exploration) 및 개념정의(Concept Definition)로 구성되어있다. 또한 공학개발 단계는 선행개발(Advanced Development), 공학설계(Engineering Design) 그리고 통합 및 평가(Integration and Evaluation)로 나누어진다. 마지막으로 개발 후 단계는 생산(Production), 운영 및 지원(Operations and Support) 단계로 구분되어있다.

〈그림 1-3〉 Systems Engineering Life Cycle Model[14]



13) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.76.
14) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.72.

먼저 SE Life Cycle Model의 첫 번째 단계인 개념개발 단계는 사용자로부터 소요를 도출하는 것에서부터 업무가 시작된다. 그리고 그러한 소요를 충족시킬 수 있는 시스템의 개념을 정의하는 것으로 개념개발 단계는 마무리된다. 이를 위해서는 사용자의 소요를 바탕으로 한 새로운 시스템에 요구사항을 결절하는 것이 매우 중요하다. 특히 시스템 요구사항을 결정하기 위해서는 실제 구현 가능성을 검토하고 최적의 시스템 아키텍처를 결정하여야 한다. 이 단계는 DoD DAMS의 Milestone 'B' 즉, 'Material Solution Analysis', 'Technology Development'에 해당한다.

개념개발 단계 이후에 수행되는 공학개발 단계는 앞에서 결정된 개념에 따라 공학적인 설계를 수행하여 개발 및 양산을 하는 과정이다. 이 단계의 주요 목표는 시스템이 경제적으로 생산되어 해당 환경에서 성공적으로 운용 및 정비되는 것이다. 이때 체계공학은 시스템의 개발과 설계, 인터페이스 정의 및 관리, 시험계획 작성, 시스템 성능의 결함이 어떻게 수정되어야 하는지를 결정하는 역할을 수행하게 된다. 이 단계에는 미 DoD DAMS의 'Engineering and Manufacturing Development'와 'Production and Deployment' 단계의 일부가 해당된다.

무기체계 연구개발 절차의 마지막 단계인 개발 후 단계는 개발된 시스템을 양산, 배치, 운용 및 지원을 위한 단계이다. 무기체계는 양산 및 배치 이후에도 30년 이상 장기간 운용되는 특성을 갖고 있다. 그러므로 시스템이 개발되어 전력화가 완료된 이후에도 여전히 체계공학의 역할이 필요하다. 특히 운용 중 발생하는 긴급한 해결책을 요하는 돌발 상황이나, 빠른 속도로 발전하는 기술의 진보 속에 시스템 성능개량이 필요한 경우에는 더욱더 그러하다. 첨단 무기체계의 수리 및 개량을 위해서는 해당 체계의 개발초기 부터 사용자의 요구사항과 기술적인 원리를 가장 잘 알고 있는 체계공학자의 참여가 필요하기 때문이다. 미국의 DoD DAMS에서 개발 후 단계는 'Production and Deployment', 'Operations and Support' 단계에 해당한다.

Ⅲ. 개념개발 단계의 주요 수행 업무

1. SEMP[15] 작성[16]

SEMP는 무기체계 연구개발 시 체계공학 활동 및 관리를 위한 기획 문서이다. 표 1은 다양한 체계공학 관련 지침서에서 명시하고 있는 SEMP의 정의 및 개념을 보여주고 있다. 표에서 명시하고 있는 바와 같이 SEMP는 프로젝트를 조직화 및 체계화하기 위한 목적으로 작성된다. 또한 무기체계 연구개발을 수행하는 방법과 고객의 요구사항을 만족하는 제품을 제공하기 위해 전체적인 엔지니어링 프로세스를 정의한 문서이다.

프로세스를 효과적으로 정리하기 위해서는 어떻게 엔지니어링과 관련된 노력을 포괄적이고 통합적으로 관리할 수 있는지에 대한 내용을 명확하게 서술해야 한다. 또한 제약사항 내에서 프로젝트를 어떻게 관리할 것인가에 대해 모든 이해관계자들이 공통적으로 이해하기 위한 목적으로 사용된다.[17]

<그림 1-4>는 SEMP와 Program Management Plan과의 관계를 나타낸다. 그림에서와 같이 체계공학은 프로젝트 관리(PM)의 한 분야에 해당한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 SEMP는 Program Management Plan(PMP)의 하위 문서체계에 해당한다. Program Technical Requirements와 Program Management Requirements를 연결해 주는 역할도 담당한다.

15) SEMP : Systems Engineering Management Plan, 체계공학 관리 계획서

16) 함정사업에 체계공학 적용에 대한 문제점 분석 및 발전방향(최종보고서), 2017.12.

17) 최요철, 철도안전프로젝트에 적용한 시스템 엔지니어링 관리계획서 작성에 관한 연구, 한국철도학회 논문집, 2006

18) 방위사업청 홈페이지

19) Systems Engineering Handbook 4th Edition, 2015, p.120.

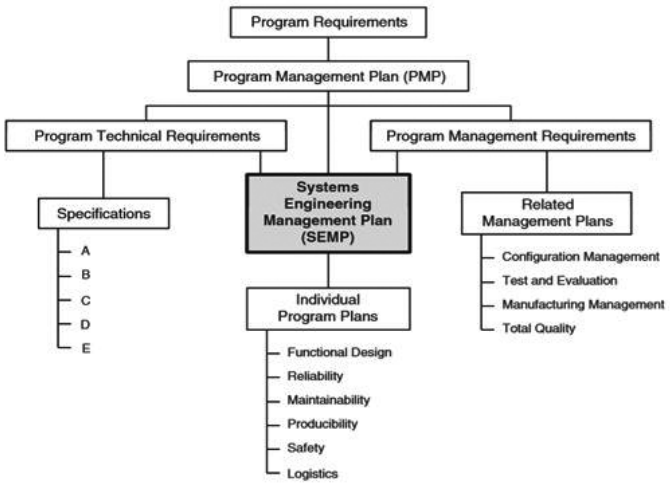
20) NASA Systems Engineering Handbook, 2007, p.131.

21) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.72.

〈표 1-1〉 문헌별 SEMP의 정의 및 개념

구 분	내 용
방위사업청 용어사전[18]	해당 무기체계 획득사업에서 요구된 모든 공학적 활동의 관리 방안 및 수행방안에 대해 정의한 포괄적인 문서. 연구개발주관기관에 의해 작성되며 방위사업청의 체계공학계획(SEP)에 의거 작성되어야 한다.
Systems Engineering Handbook 4th Edition[19]	SEMP는 SE 노력을 관리하기 위한 최상위 계획이다. SEMP는 프로젝트가 어떻게 조직화 구조화되고 실행되며, 이해 관계자들의 요구사항을 충족하는 제품을 제공하기 위해 전체 엔지니어링 프로세스가 어떻게 통제되는가를 정의한다.
NASA Systems Engineering Handbook[20]	SEMP는 프로젝트 중에 수행되는 기술 및 엔지니어링 활동을 위한 기초 문서이다. SEMP는 프로젝트 계획에 대한 기술 통합 방법론 및 활동에 대한 정보를 모든 직원에게 제공한다. 또한 SEMP는 프로젝트 계획에 대한 하위 문서이다. SEMP는 모든 프로젝트 참여자들이 프로젝트가 제약 조건 내에서 기술적으로 어떻게 운용될 수 있는지를 정의하는 한편, 정해진 프로그램 제약 조건 내에서 목표를 달성할 수 있도록 한다. 또한 SEMP는 프로젝트 수명 주기의 모든 단계에서 시스템 엔지니어링 관리 기법을 적용하는 방법을 전달한다.
Systems Engineering Principle & Practice[21]	시스템 인터페이스를 제어하기 위한 별도의 문서가 필요한 것과 마찬가지로 프로젝트 내의 책임과 권한을 규정하고 통제하는 것 또한 반드시 필요하다. 이러한 역할을 하는 것이 바로 SEMP이며 SEMP의 준비와 배포를 통해 프로젝트 내 참여자들의 책임과 권한을 명확히 구분해 줄 수 있다. 또한 시스템 엔지니어링 작업을 수행하는 절차를 준수할 수 있도록 하는 레퍼런스가 되어 전체 시스템을 원활히 개발할 수 있도록 하는 중요한 요소이다.

〈그림 1-4〉 프로젝트 관리에서 SEMP의 위치[22]



22) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.118.

SEMP의 역할 및 장점[23]은 크게 네 가지로 구분하여 설명할 수 있다. 우선 첫째로 SEMP는 무기체계 연구개발 전체 과정을 계획하는 포괄적인 접근법이라는 점이다. SEMP는 프로젝트 관리 계획서(Project Management Plan)와 비교했을 때 전체 수명주기에 걸쳐 연구개발 프로젝트의 모든 자원 및 활동이 어떻게 관리되어야 하는지를 명확하게 나타내게 된다.

둘째, SEMP는 시스템 자체를 관리하기 위한 노력을 이끌어 낼 수 있다. 시스템 엔지니어는 프로젝트에 참여하는 사람들이 어떻게 팀을 구성하고, 어떤 활동을 해야 하는지 결정하여야한다. 또한 팀이 활동을 수행하는데 사용해야할 프로세스와 그러한 활동을 수행했을 때 얻을 수 있는 결과를 SEMP에 기술하여야 한다.

셋째, SEMP는 정보의 저장소이면서도 프로젝트를 위한 일종의 로드맵으로의 역할을 한다. SEMP를 통해 프로젝트를 가이드하고 가용 자원과 노력을 어떻게 통합해 나가는지를 보여주어야 하기 때문이다. 넷째, SEMP는 무기체계 개발에 필요한 종합적인 계획을 수립하게 하고 프로젝트 전반의 관리를 통해 의사소통 부재로 인한 문제가 발생하는 것을 방지함으로써 궁극적으로는 프로젝트의 성공에 기여하게 된다.

2. TEMP[24] 작성

성공적으로 무기체계를 연구개발하기 위해서 반드시 필요한 절차는 초기의 요구사항이 최종 생산품에 제대로 반영되었는지 확인하는 것이다. 이를 위해서는 획득 전략을 반영한 포괄적이고 효과적인 시험평가가 수행되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 필요한 문서체계가 TEMP이다.[25]

TEMP는 일정, 비용, 시험평가 프로그램 등을 종합적으로 관리하기 위한 문서체계이다. 이를 통해 의사 결정권자들에게 적시에 필요한 자료들을 제공할 수 있으며 주요 포함사항은 아래의 목록과 같다.

① 연구개발로 획득하는 무기체계의 성능을 증명하기 위한 시험 계획수립

23) Tamara S Rodriquez. Systems Engineering Management Plans(n.p. : Sandia National Laboratories, 2009, p.7

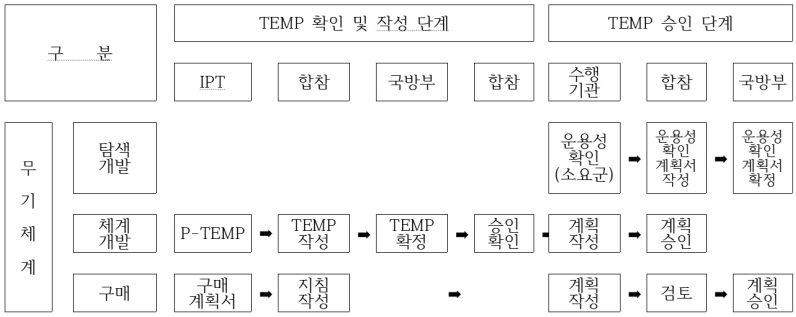
24) TEMP : Test & Evaluation Management Plan, 시험평가기본계획서

25) 방위사업청, 체계공학 업무편람, 2009.

② 개발 및 운용시험평가 관리 및 일정 수립
③ 중요한 성능 및 운용문제 확인
④ 세부시험계획 작성을 위한 기본구조 제공
⑤ 소요 시험자원 요약
⑥ 요구되는 시험자원과 지원요구사항 확인

<그림 1-5>는 무기체계 연구개발 사업단계별 TEMP 작성 절차를 보여주고 있다. 최초로 시험평가관련 문서가 작성되는 시기는 탐색개발 단계이며 이때 작성되는 문서는 예비시험평가기본계획서(Pre-TEMP)라고 한다. Pre-TEMP는 체계개발 단계를 거치면서 TEMP로 보완 및 발전되며 국방부 전력정책관실에서 최종 확정하는 절차를 갖는다.[26]

<그림 1-5> 국내 연구개발 무기체계 시험평가 문서 작성단계[27]



TEMP 작성을 위해 참조가 필요한 문서들은 아래와 같다.
① 작전운용성능(ROC) : 주요 작전운용성능, 합동성 및 상호운용성, 보안대책, 기술적/부수적 성능
② 체계개발 실행계획서
③ Pre-TEMP
④ 기술검토보고서(SRR, SFR, PDR, CDR, PRR) 등

26) 방위사업청, 무기체계 시험평가 실무 가이드북, 2012, p.40.
27) 합동참모본부, 무기체계 시험평가 지침서, 2017.

또한 TEMP 작성을 위한 실무예시는 아래의 <그림 1-6>에서 확인할 수 있다. 그림에서와 같이 TEMP 작성을 위해서는 체계설명, 개발시험평가 개요, 운용시험평가 개요 및 시험평가관련 자원이 포함되어야 한다.

<그림 1-6> TEMP 작성 예시[28]

PART Ⅰ : 체계설명
1. 임무개요 2. 체계위험평가 3. 효과측정 및 적합성 4. 체계개요

PART Ⅱ : 통합시험사업 요약
1. 통합시험사업 일정계획 관리

PART Ⅲ : 개발시험평가 개요
1. 개발시험평가 개관 2. 향후 개발시험평가

PART Ⅳ : 운용시험평가 개요
1. 운용시험평가 개관 2. 주요운용사안 3. 향후 운용시험평가
4. 실사격 시험평가

PART Ⅴ : 시험평가 자원요약
1. 시험항목 2. 시험기지 및 계측장비 3. 시험 지원장비
4. 위협의 표현 5. 시험 표적 및 소모품 6. 작전부대의 시험지원
7. 시뮬레이션, 모델 및 대체시험기 8. 특수 요구사항
9. 시험평가 예산요구 10. 인력/인원 훈련

붙임 A : 관련근거 문서
붙임 B : 약어
붙임 C : 문의처

28) 방위사업청, 무기체계 시험평가 실무 가이드북, 2012, p.40.

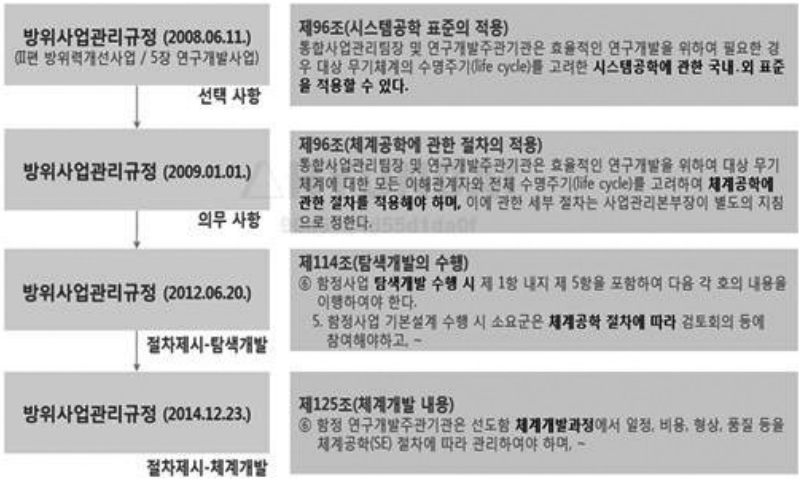
Ⅳ. 우리군의 체계공학 적용 문제점

1. 각종 문헌상 체계공학

우리군은 방위사업청 출범과 더불어 체계적인 무기체계 연구개발을 위해 2007년 10월 30일 방위사업관리규정을 제정하였다. 그리고 체계공학의 중요성을 인식한 우리군은 몇 차례에 걸쳐 방위사업관리규정을 개정하여왔다

<그림 1-7>은 체계공학과 관련된 방위사업관리규정의 개정 이력을 보여주고 있다. 특히 주목할 사항은 2008년 6월 최초로 시스템공학 표준의 적용을 선택사항으로 기술하고 있다는 점이다. 그리고 2009년 1월 개정에서는 기존에 선택사항으로 머물러 있던 체계공학과 관련된 사항이 의무사항으로 변경되었다. 이는 우리군의 무기체계 연구개발을 체계공학 기반으로 수행하겠다는 의지를 실제 정책에 반영하기 위한 것으로 판단된다.

<그림 1-7> 방위사업관리규정 개정 이력



이러한 의지에 따라 체계공학과 관련된 다양한 지침서 들이 발간되기 시작했다. 대표적인 지침서는 2007년 방위사업청에서 발간한 '시스템엔지니어링 가이드북'이다. 가이드북에서는 시스템엔지니어링의 정의를 "시스템엔지니어링이란, 복잡한 시스템

을 개발함에 있어, 고객의 요구를 만족시키는 통합된 수명주기 균형시스템 해결책을 적용하고 검증하기 위한 다분야 학문의 엔지니어링 접근방법이다. 여기에는 시스템 엔지니어링 프로세스 및 다양한 기법 및 도구들이 사용되며, 경험과 지식을 갖춘 전문가 집단이 요구된다."라고 명시하고 있다.

또한 시스템 연구 개발 시 체계공학이 적용된 사례도 기술하고 있다. 대표적인 사례로는 보잉 777 항공기 개발을 위해 컴퓨터에 의한 설계와 시뮬레이션에 의한 성능시험기법을 도입하여 개발초기 활동을 강화함으로써 비용 및 일정 면에서 많은 이득을 얻은 사례를 제시하였다. 또한 미 해군 F/A-18E/F 항공기 개발 시 다분야 전문팀에 고객을 포함시킴으로써 의사결정자와 고객의 원활한 의사소통 가능 및 비용 상승을 방지하는 효과를 거두었다는 점도 강조하였다. 그리고 차세대 공격 핵잠수함 개발 시 IPPD[29]를 적용하여 다분야 전문팀을 조직하고 제품과 관련 프로세스를 동시에 개발하기 위해 M&S와 같은 설계도구, 통합팀 등을 사용한 사례도 명시하였다. 그러나 체계공학을 적용한 사례를 통해서는 위에서 언급한 SE Life Cycle Model과의 관계 보다는 M&S 등 사업관리와 관련된 도구 중심의 활용사례를 언급하고 있다.

2012년에는 'SE를 기반으로 하는 ILS 개발 실무참고서'를 발간하였다. 이 실무참고서의 서론에서는 '본 참고서는 체계공학(SE)을 기반으로 하여 소요기획 단계로부터 탐색개발, 체계개발 단계에 이르는 무기체계 연구개발 수행간에 ILS 관련 업무수행체계 및 실무 착안사항 등을 체계적으로 종합하여 업무담당관 및 실무요원이 본 참고서를 활용하여 조기에 업무능력을 배양하고 활용할 수 있게 작성하였다.'라고 명시하고 있다. 그리고 실제 본문 '제3장 획득단계별 세부 ILS 검토업무'에서는 소요기획 단계, 선행연구단계, 탐색개발단계 및 체계개발단계에 걸쳐 어떠한 ILS 관련 업무를 수행해야 하는지 기술하고 있다. 세부적인 업무로는 사업추진기본전략 검토, 탐색개발 기본계획서 검토, 체계요구검토(SRR) 및 체계기능검토(SFR) 등 우리기 이미 알고 있는 각종 문서에 대한 검토 필요성을 강조하고 있다. 이 '실무참고서'에서도 체계공학의 Life Cycle Model에 관한 언급보다는 각종 문서체계에 대한 내용만 기술하고 있는 실정이다.

우리군의 국방과학기술의 발전방향을 제시하는 2014 2028 국방과학기술 진흥정책서에도 체계공학에 대한 내용을 담고 있다. 그러나 '5장 국방과학기술진흥정책 기

29) IPPD : Integrated Product and Process Development, 통합 생산 및 절차 개발

본방향'에서 체계공학은 다른 사업관리 기법들과 함께 거론되는 수준에 머물러 있다. 즉 '체계적 효율적인 국방연구개발 사업관리 및 평가를 위해 과학적 사업관리 기법을 확대 적용하고, 한국적 국방연구개발에 적합한 새로운 기법에 대해 지속적 연구 장려'라 명시하였다. 그리고 그에 대한 구체적인 목표로 '과학적 사업관리기법을 예로 체계공학(SE), 사업성과관리(EVMS), 목표비용관리(CAIV), M&S 기반 획득관리(SBA) 등의 과학적 사업관리기법 적용 대상 지속적 확대'를 강조하였다. 이러한 표현은 마치 체계공학 이 EVMS와 같은 사업관리 도구의 하나로만 인식하게 되는 결과를 가져올 수 있다.

2018년 3월에는 'SE기반 위험관리 가이드북'이 발간되었다. 이 가이드북에서는 위험관리와 체계공학(SE) 도구와의 관계를 '위험관리는 다음과 같이 체계공학 도구 및 방법론과 연계하여 효과적으로 수행될 수 있으며, 그 밖의 다양한 상용도구를 적용하여 보다 편리하게 자동추적 관리가 가능하다.'라고 명시하고 있다. 그리고 구체적인 체계공학 도구 및 방법론으로는 아래와 같은 항목을 제시하였다.

1) Work Breakdown Structure(WBS): 사업의 목표 및 범위와 위험관리 연계
2) Integrated Master Plan/Integrated Master Schedule: 사업통합 일정 및 계획과 위험관리 연계
3) Earned Value Management(EVM)/Cost as an Independent Variable (CAIV): 사업목표대비 일정, 비용 현황과 위험관리 연계
4) Technical Performance Measures(TPM): 기술성숙 수준에 따른 위험관리 연계

그리고 체계공학에 대한 정의는 '사용자 요구사항 분석, 설계 제작, 검증 확인, 운용, 폐기 등 모든 단계를 수명주기(Life Cycle) 관점을 고려하여 고객의 요구사항을 만족하도록 경제적, 균형적으로 체계를 개발하는 기법'으로 명시하고 있다. 이와 같이 체계공학과 관련된 우리군의 지침서에서는 체계공학과 기존 사업관리와의 관계가 모호하게 표현되어있는 실정이다.

2. 우리군의 체계공학 적용 문제점

앞서 언급한 바와 같이 체계공학이 급격하게 발전하게 된 계기는 제 2차 세계대전을 통해서이다. 그 이유는 전쟁에서 승리하기 위해서는 적보다 앞선 최신의 기술을 적용한 강력한 무기를 보다 신속하게 연구 개발하는 것이 필요했기 때문이다. 이러한 앞

선 무기체계를 개발하기 프로젝트들은 공통점이 있는데 그것이 바로 개발위험이 높다는 것이다. 그리고 이러한 개발위험을 증가시키는 가장 큰 요인은 원하는 수준의 무기체계를 개발하기 위해서는 첨단 기술을 접목해야한다는 것이다. 이러한 이유로 체계공학은 최첨단 무기체계 연구 개발 시 동반되는 개발위험을 감소시키기 위한 목적으로 발전하여왔다.

그러나 우리군은 최초 소요제기 단계에서부터 ROC[30]를 제출하여야 하는 절차를 사용하고 있다. 즉 초기부터 수치화된 규격서 수준의 요구사항을 제출해야 하는 것이다. 일반적으로 이렇게 결정된 ROC를 변경하기 위해서는 많은 단계의 절차가 필요하다. 그러므로 초기에 제시된 ROC를 이용하여 실제 무기체계 개발로 이어지는 경우가 대부분이라 할 수 있다. 다른 관점에서 보면 초기에 제출되는 ROC는 이미 선진국에서 운영 중인 모델을 기반으로 해야 개발에 성공할 수 있다는 한계를 갖고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 새로운 무기체계 개발을 위해 체계공학을 적용해야하는 이유는 개발위험 때문이다. 특히 SE Life Cycle Model의 개념개발은 개발 초기에 가장 적합한 개념을 결정하기 위해 필요한 절차이다. 그러나 이미 ROC가 결정된 경우라면 이러한 개념개발 노력은 불필요할 것이다. 경직된 ROC 제도를 사용하는 경우에 나타나는 또 다른 문제점은 계속해서 발전하고 있는 최신 기술을 실제 개발 및 양산 단계에서는 적용할 수 없다는 점이다. 모든 사양과 규격이 소요제기 단계에서 정해진 ROC를 준수해야하기 때문이다. 지금보다 기술발전 속도가 빨라질 것으로 예상되는 미래에는 이로 인한 문제가 더욱더 커질 것이다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 최근 우리 군에서는 기술발전 추세를 소요에 반영할 수 있도록 '유연한 ROC' 설정하여 관리하는 체계 구축을 추진하고 있다. 표 2는 '2017년도 국방과학기술진흥실행계획서'에 기술되어있는 '유연한 ROC' 제도의 개념을 보여주고 있다. 즉 무기체계 소요결정시에는 요구능력 만을 제시하고 이후 선행 및 탐색개발을 통해 초기 요구성능을 구체화하게 된다. 그리고 마지막으로 체계개발을 진행하면서 요구성능을 최종적으로 구체화하고 확정하게 되는 절차이다. 앞으로 이러한 절차가 실현된다면 우리군도 최신 기술을 탄력적으로 적용할 수 있는 무기체계 연구개발 절차를 갖게 될 것으로 기대된다.

30) ROC : Required Operational Capability, 작전운용성능

〈표 1-2〉 ROC 설정 현황 및 변화 방향 (예시)

현재 ROC	변화 후 단계별 설정하는 ROC
적 탄도탄 요격용 미사일 - 사거리 500Km - 마하 2.0 이상 - 고체 추진제 - 스텔스 기능 등	(ROC-I) 적 탄도탄을 요격 가능한 미사일 (ROC-II) 사거리 300 700Km, 속력 마하 1.0 3.0 (ROC-II) 사거리 500Km, 속력 마하 2.0 이상, 고체 추진제, 스텔스 기능 등

그러나 '유연한 ROC'에 대한 표현은 다소 적절하지 않은 부분이 있다. '유연한'이라는 표현이 적절하지 못한 이유는 〈표 1-3〉에서 찾아볼 수 있다. 표 3은 체계공학 절차에 따라 무기체계를 개발할 때 시스템과 하부 시스템 등이 어떻게 진화적으로 개발되어야 하는지를 보여주고 있다. 표를 통해서 우리는 무기체계 개발은 소요의 타당성을 분석하는 것에서부터 시작된다는 것을 알 수 있다. 이후 단계에서는 시스템이 필요로 하는 능력과 그 효과를 분석하고 대안이 되는 개념을 탐색하여 최종적으로는 물리 아키텍처를 정의한다. 그리고 이렇게 결정된 물리 아키텍처는 다음에 이어지는 단계인 공학적 개발의 기반이 된다. 그러므로 체계공학을 기반으로 무기체계를 개발한다는 것은 '유연한' 개발이라는 표현보다 '진화적' 개발이라는 표현이 적절할 것으로 판단된다.

〈표 1-3〉 Evolution of System Materialization through the System Life Cycle

	Phase					
	Concept development			*Engineering development*		
Level	Needs analysis	Concept exploration	Concept definition	Advanced development	Engineering design	Integration and evaluation
System	Define system capabilities and effectiveness	Identify, explore, and synthesize concepts	Define selected concept with specifications	Validate concept		Test and evaluate
Subsystem		Define requirements and ensure feasibility	Define functional and physical architecture	Validate subsystems		Integrate and test
Component			Allocate functions to components	Define specifications	Design and test	Integrate and test
Subcomponent	Visualize			Allocate functions to subcomponents	Design	
Part					Make or buy	

V. SE 기반의 무기체계 연구개발 절차

4차 산업혁명 시대의 가장 큰 화두는 창의성이다. 창의성은 사회전반에 걸쳐서 많은 변화를 가져올 것으로 예상되고 있다. 그리고 이러한 변화의 물결은 우리 군에게도 많은 영향을 미칠 것이다. 이러한 변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 기존의 무기체계 연구개발절차와는 차별되는 발전 전략이 필요하다.

이러한 이유로 본 연구에서 체계공학 기반의 무기체계 연구개발 절차를 제시하고자 한다. 다음은 체계공학 기반의 무기체계 연구개발 절차와 기존 절차와의 대표적인 차이점을 설명하고 있다.

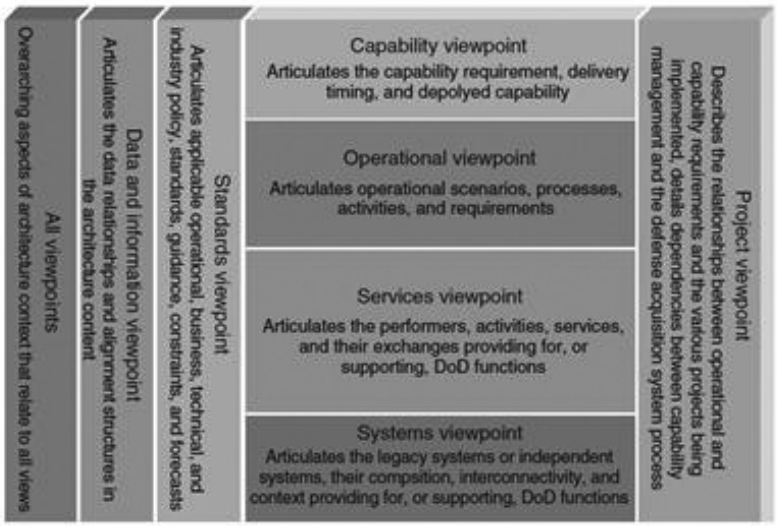
1. 상세설계를 위한 개념개발의 중요성

앞에서도 언급한 바와 같이 우리군은 새로운 무기체계 연구개발 사업소요 제기 단계에서부터 ROC를 제출하도록 되어있다. 그러나 구체적인 수치로 표현되는 ROC를 제출하기 위해서는 이미 성공적으로 운용되고 있는 선진국의 무기체계를 모방할 수 밖에 없는 것이 현실이다.

Systems Engineering Life Cycle Model의 첫 번째 단계인 개념개발 단계는 새로운 개념의 무기체계에 대한 아키텍처를 설계하기 위한 절차를 제시하고 있다. 미국의 경우 아키텍처 작성을 위한 표준 지침을 제시하고 있으며 <그림 1-8>은 Department of Defense Architecture Framework (DODAF)을 보여주고 있다.

그림에서와 같이 DODAF는 8개의 관점으로 구성되어있다. 그리고 8개의 관점은 3개의 그룹으로 구분하고 있다. 4개의 관점으로 구성되어 있는 첫 번째 그룹은 전체 시스템과 함께 관련 환경을 묘사하고 있다. 여기에는 능력, 운영, 지원 및 관련 시스템들이 포함된다. 두 번째 기반시설, 정보 및 각종 표준을 포함한다. 한 개의 관점으로 구성된 마지막 그룹은 시스템 개발 프로젝트에 관한 사항을 다루고 있다.

〈그림 1-8〉 DODAF version 2.0 viewpoints[31]



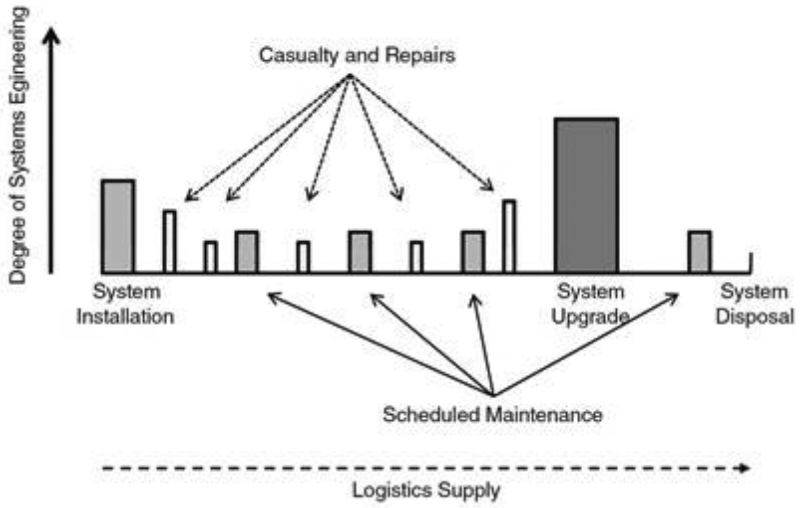
2. 무기체계 연구 개발 후 단계에서 체계공학의 역할

〈그림 1-9〉는 시스템이 개발되고 실제로 전력화된 이후에 고려해야 하는 후속 군수지원 사항을 보여주고 있다. 무기체계의 특성상 개발이 완료된 이후의 운영기간이 30년 이상인 경우가 많다. 그러므로 계획된 정기적인 정비활동이외에도 많은 후속지원이 필요하다. 그중에 하나가 예상하지 못한 결함으로 인한 수리의 소요이다. 지난 7월 17일에는 우리 해병대에서 도입한 마린온 사고가 그 대표적인 예이다. 이러한 사고가 발생한 경우에는 초기 개발시점에서부터 참여한 체계공학 전문가의 역할이 중요하다.

또한 4차 산업혁명의 시대를 맞이하여 앞으로 기술개발 속도는 더욱더 빨라질 것으로 예상되고 있다. 그러므로 이러한 기술을 활용하여 적기에 시스템의 성능을 개량할 수 있는 방안을 수립하는 것이 필요하다. 이러한 역할 역시 전장 환경에서 필요로 하는 소요를 이해하고 있는 체계공학자의 책임이라 할 수 있다.

31) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.227.

〈그림 1-9〉 System operations history[32]



Ⅵ. 결론

2017년 10월 17일 문재인 대통령께서는 아덱스 개막식 축사를 통해[33] "우리나라는 기술과 품질 중심의 방위산업으로 나아가야 합니다. 4차 산업혁명에 걸맞은 선진 방위산업의 핵심은 창의와 혁신입니다. 무인 정찰기와 전투기를 비롯한 각종 무인 무기체계들이 등장했고, 이를 뒷받침 할 인공지능 기술도 눈부시게 발전하고 있습니다." 라고 강조한바 있다. 또한 "내수형 방위산업에서 수출형 글로벌 방위산업으로 발전해야 합니다."라고 덧붙였다.

국방분야에 대한 이러한 시대적인 요구를 따르기 위해서는 과거와 같은 선진국 '추격형' 무기체계연구개발에서 이제는 '선도형'으로 발전해야하는 시점이다. 이를 위해서는 기존에 선진국이 운영중인 무기체계의 제원을 도입하여 사용하는 것이 아니라 우리나라의 변화하는 안보환경에 맞는 무기체계개발 노력이 필요하다.

이러한 노력을 구체적으로 실현하기 위한 방법이 'SE 기반의 무기체계 연구개발 절차'를 정립하는 것이다. 특히 아키텍처 개발을 포함하는 개념개발절차를 정교하게 적

32) Alexander Kossiakoff, 「Systems Engineering Principles and Practice」, 2011, p.507.
33) 아시아투데이. (2017). "[전문] 문재인 대통령 아덱스(ADEX) 2017 개막식 축사", 10월 17일.

용하는 것이 필요하다. 그러므로 앞으로는 본 연구를 통해 제시된 새로운 인식을 바탕으로 체계공학에 대한 보다 체계적이고 광범위한 연구수행이 필요하다.

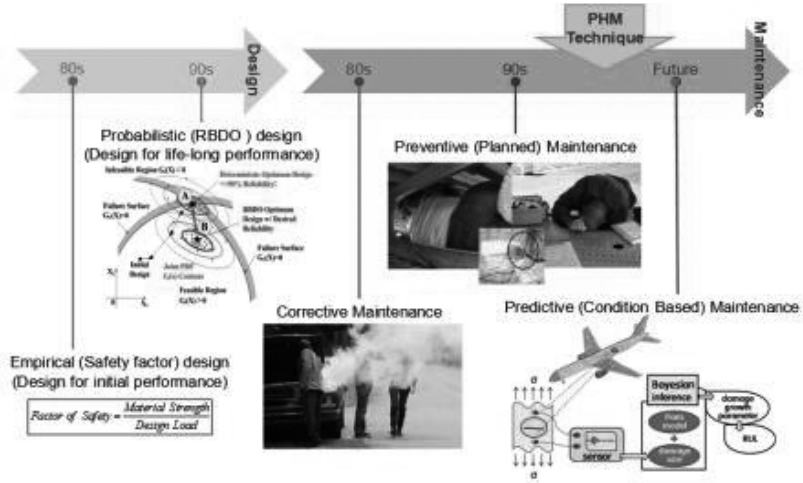
2 엔진 수명관리 기법 연구 /최주호

Ⅰ. 서론

1. PHM의 개요

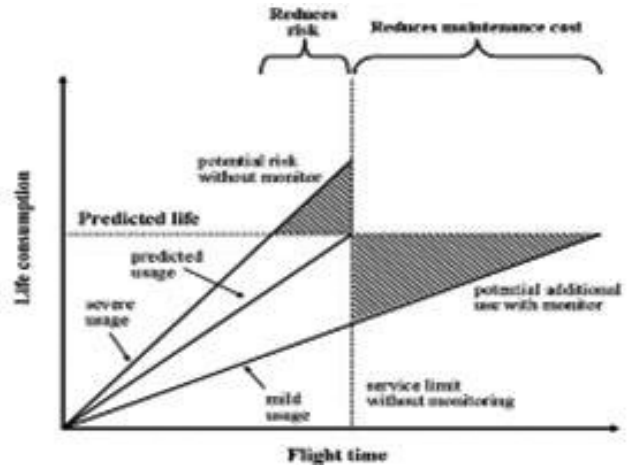
고장발생 시 대형 인명손실로 이어지거나 수리비용이 높은 시스템들은 운용 중 사고를 막기 위해 높은 안전성이 요구된다. 여기에는 항공기나 원전배관 균열, 헬리콥터·풍력발전기 기어장치, 무인기·전기 차의 배터리 등이 있으며, 이들은 높은 하중을 받으면서 결함이 성장하거나 성능이 열화 되면서 어느 순간 급격히 고장에 도달한다. 이를 해결하기 위해 <그림 1-10>과 같이 수명주기(lifecycle) 동안 성능을 보장하는 신뢰성 최적설계 기술이 최근 30년 동안 개발되었으나 설계단계에서 운용 중 발생하는 모든 상황을 고려하는 것은 불가능하기 때문에 한계가 있다. 또한 최근에는 비용절감을 위해 설계 수명을 연장하여 운용하는데 이는 설계가 해결할 수 없다.

〈그림 1-10〉 Trends in design and maintenance



따라서 최선의 방안은 운용 중 정비를 철저히 하여 파손을 예방하는 수밖에 없으며 이를 위한 현재의 방식은 주기적 예방정비(PM, Preventive Maintenance)이지만 잦은 정지 및 교체로 가동률 저하와 높은 비용이 문제가 되고 있다. 또한 이 방식은 fleet average에 기반을 두어 정비주기를 설정하는데, 가동조건이 가혹한 경우 예측된 수명보다 빨리 고장에 도달하여 문제가 되거나, 반대로 가동조건이 양호한 경우 늦게 고장에 도달하므로 일찍 정비하는 것이 낭비가 될 수 있다.

〈그림 1-11〉 Assessing fatigue life and MTTR based on fleet average is unwise



최근 이러한 문제 해결을 위해 건전성예측 및 관리(Prognostics and Health Management, PHM) 기술이 많이 연구되고 있는데 이 기술은 가동 중인 시스템에 대해 핵심 고장모드를 대상으로 실시간으로 건전성(health)을 평가하고 미래의 고장시점을 예측하는 기술이다. 이를 통해 〈그림 1-11〉와 같이 상태기반 정비(CBM, Condition Based Maintenance)가 가능하며, 비용을 절감하면서 더 높은 안전성을 확보할 수 있다. PHM 기술은 센서데이터로부터 현재의 결함수준을 평가하는 건전성 모니터링(health monitoring), 건전성 데이터를 이용한 예측모델 확립, 확립된 모델을 이용한 미래 고장시점 예측으로 구성된다. 예측모델은 물리기반 및 데이터기반 두 방법이 있으며, 여러 가지 불확실성(측정오차, 제한된 데이터, 모델오류 등)을 효과적으로 고려하기 위해 통계에 기반을 둔 추정/예측 알고리즘이 공통적으로 적용된다.

2. PHM의 단계 및 이론

PHM은 다음과 같은 세 단계로 구성된다.

• 단계 1: 실시간 건전성 모니터링 (Online health monitoring)

가동 중인 시스템의 결함크기를 평가하기 위해 센서로부터 데이터를 획득하고, 이로부터 결함을 잘 나타내는 건전성 지수(health index, HI)를 구한다. 이를 위해 FFT와 같은 시그널 처리를 이용한 결함 특징추출(feature extraction) 또는 물리적 해석을 토대로 한 결함 파라미터 추정을 수행하며, 실제 측정된 결함크기 D와 HI의 상관관계를 구축함으로써, HI를 통해 현 시점의 결함크기 D를 실시간 모니터링 한다.

• 단계 2: 예측모델 확립 (Establishing prediction model)

단계 1에서 얻어진 건전성 지수 HI와 하중조건 데이터를 바탕으로 고장예측 모델을 확립하고 관련 계수를 추정한다. 손상물리의 존재여부에 따라 데이터기반 및 물리기반 두 방법을 개발하며, 고장모드 종류, 센서특성 및 제공 데이터(하중조건, 선행시험)에 따라 적절한 방법과 함께 융합형(hybrid) 모델을 제시한다.

• 단계 3: 미래 고장시점 예측 (Failure prognosis for future usage)

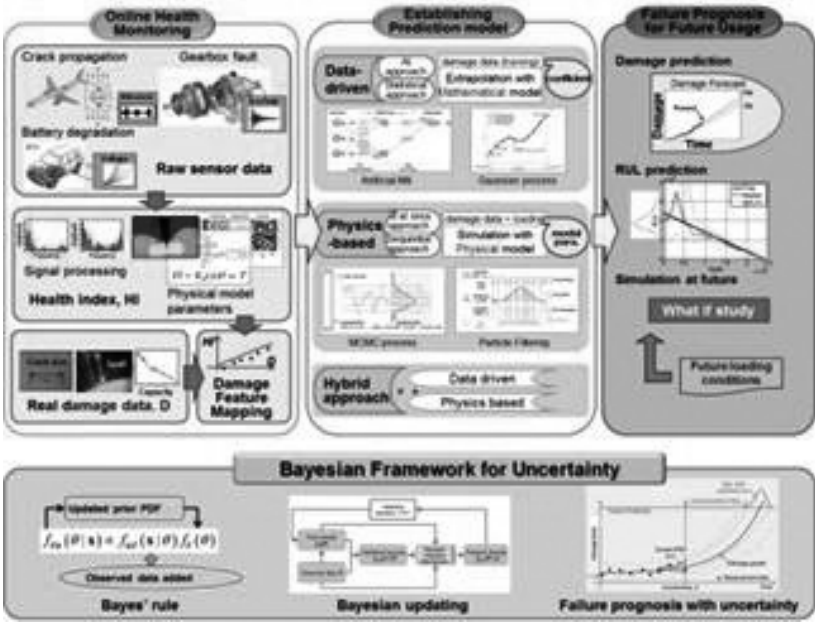
단계 2에서 확립된 모델을 이용하여 미래 조건에서 결함성장(열화) 거동을 시뮬레이션하고, 고장시점 또는 잔존수명(Remaining Useful Life, RUL)을 예측하거나 특정 시점에서 수행능력여부를 what-if study한다.

한편 PHM의 각 단계에는 다양한 불확실성이 존재하므로 이를 결과에 적절히 반영하기 위해 다음과 같은 기반기술이 필요하다.

• 불확실성 고려한 베이지안 프레임워크 (Bayesian framework for uncertainty)

건전성 모니터링 및 고장예측의 전체 과정에는 여러 가지 불확실성(센서오차, 데이터부족, 물리모델 단순화 등)이 존재하며, 이를 효과적으로 고려하기 위해 베이지안(Bayesian) 기법에 기반을 둔 추정 및 예측 알고리즘이 필요하다. 그 결과 고장예측은 확률적으로 표현되며 잔여수명 RUL이 신뢰수준 상하한으로 제시된다. 그리고 위의 고장예측기법 단계들을 <그림 1-12>에 나타내었다.

〈그림 1-12〉 Overall process of prognostics



PHM 구현을 위해서는 〈그림 1-13〉와 같이 세 가지의 접근법이 있다.

• 경험기반 방법 (Experience based approach)

시험 또는 가동 중 발생한 고장(수명) 데이터를 이용하여 통계처리 후 수명예측에 활용한다. 고장 데이터를 와이블과 같은 확률분포로 적합한 후 B10수명(10% 리스크 감안한 잔여수명)을 추정하고 MTBF(Mean Time Between Failure)를 결정하는 방식이다.

- 장점: 간단하고 적용범위 가장 넓다.
- 단점: 고장데이터가 매우 많아야 하며 동일 사용조건과 고장에 대해서만 사용가능하다. 센서기반 실시간 모니터링이 아니라 진정한 PHM라고 할 수 없다.

• 데이터기반 방법 (Data-driven approach)

오프라인에서 Machine Learning 기법(Neural Network, Gaussian Process Model, Relevance Vector Machine등) 이용하여 하중(input) 대비 손상(damage) 관계 훈련 후 온라인 모니터링에 적용하여 미래고장을 외삽(extrapolation) 예측하는 방식이다.

- 장점: 손상물리모델 없어도 사용 가능하여 적용범위가 비교적 넓다.

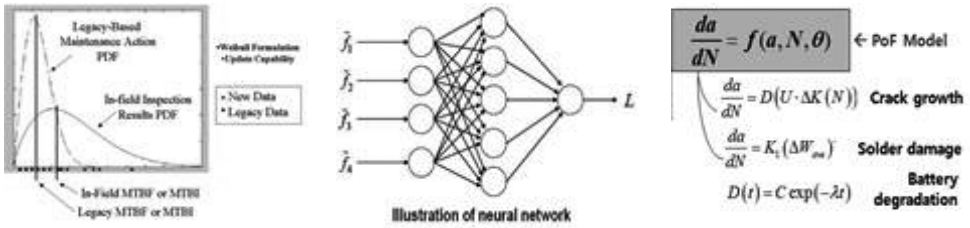
- 단점: 훈련을 위해 많은 데이터가 (massive run-to-failure data) 필요하다. 또한, 사용조건이 달라지면 다시 훈련해야 한다. 근접 예측은 가능하나 먼 미래예측은 신뢰할 수 없다.

• 물리기반 방법 (Physics based approach)

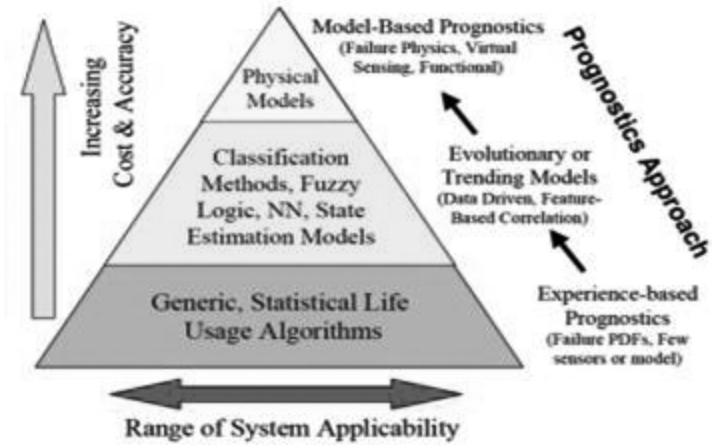
물리적 고장 메커니즘 기반 모델(PoF based degradation model)을 활용한다. 온라인 건전성 데이터 활용하여 손상모델 실시간 업데이트 및 미래를 예측한다.

- 장점: 가장 정확한 방법이며 적은 고장 데이터로도 가능하다. 물리적 모델에 기반을 두므로 먼 미래의 고장예측도 가능하며 손상모델 변수만 알아내면 여러 조건에도 활용가능하다.
- 단점: 확립된 고장 물리 모델이 많지 않아 적용분야 제한적이다.

〈그림 1-13〉 Three approaches for prognostics



(a) experience based (b) data-driven (c) model based



데이터 기반 및 물리모델 기반에 대해 대표적 두 가지 방법을 아래에 소개한다.

【데이터기반 고장예측(Data-driven prognostics)】

데이터기반 방법은 열화에 관한 물리모델이 없는 경우에 적용되며, 정확한 예측을 위해 기존에 확보한 건전성 데이터(training data)를 활용한다. 이 방법에서는 적절한 수학모델을 수립하고 모델에 사용되는 계수(또는 가중 파라미터)를 트레이닝 데이터에 기반을 두어 결정한다. 이 방법은 물리적 열화거동을 모르기 때문에 근접한 미래시점, 특히 고장발생이 임박한 시점에서의 거동예측에 더 유효하다. 대표적으로 신경망(neural-network, NN) 방법과 가우스 프로세스(Gaussian process, GP) 방법이 있다.

• Neural Network 방법34)35)

입출력 및 hidden 레이어로 구성된 신경망 네트워크(NN) 모델을 수립하고, 이전 사이클의 건전성 데이터와 하중조건 데이터를 입력변수로, 현 사이클의 건전성 데이터를 출력변수로 사용하여, 입출력 간의 관계를 규정짓는 파라미터를 최적화 기법에 의해 결정한다. 대표적 NN 모델이 그림에 있으며, Hw 및 Qw가 가중치 파라미터, Hb, Ob가 바이어스 파라미터를 나타내며, 입출력 데이터를 이용하여 이들을 결정하는 과정을 훈련(training) 또는 학습(learning)이라 한다. 학습된 NN을 이용하면 새로운 입력조건에서의 출력 값을 구할 수 있다. 이 방법은 (a) NN모델의 설정(노드와 레이어의 개수) (b) 가중/바이어스 파라미터 최적해 찾기 (c) 데이터 오차에 따른 불확실성 등의 어려움이 있다. <그림 1-14(a)>

• Gauss Process 방법36)37)

가우스 프로세스(GP)는 원래 회귀모델 구축을 위한 방법인데, 이를 고장예측에도 활용하고 있다. GP는 전역 모델과 이의 국부적 벗어남으로 구성되며, 가장 큰 특징은

34) Chakraborty, K.; Mehrotra, K.; Mohan, C. K.; and Ranka, S. "Forecasting the behavior of multivariate time series using neural networks." Neural Networks, (1992).

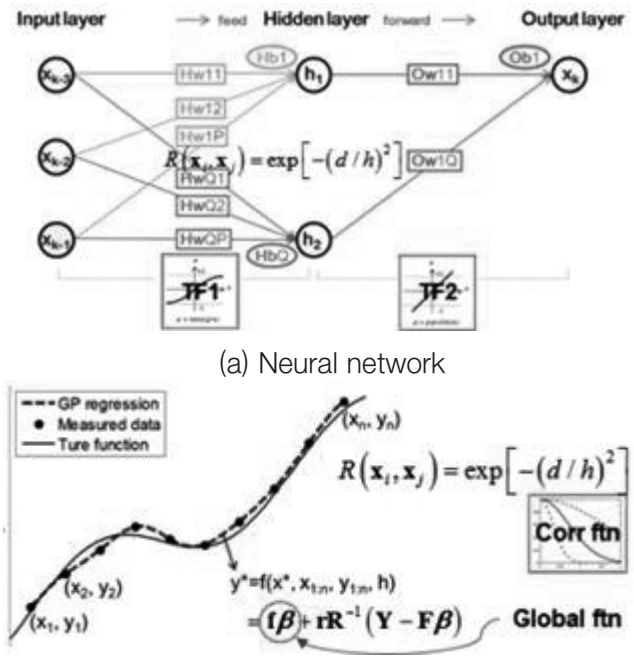
35) Svozil, D.; Kvasnicka, V.; and Pospichal, J. "Introduction to multi-layer feed-forward neural networks." Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, (1997).

36) "Mackay DJC. Introduction to Gaussian Processes." Technical report, Cambridge University, UK. 1997. Available from: http://www.cs.utoronto.ca/~mackay/gpB.pdf

37) Seeger, M. "Gaussian processes for machine learning." International Journal of Neural Systems, Vol. 14, No. 2, (2004).

그림 5(b)에 보듯 측정 점과 점 사이를 매끄럽게 보간한다는 것이다. 그러나 이 방법의 문제는 고장예측과 같이 예측점이 측정점 바깥에 있으면서 점점 멀어질 경우 GP 해가 전역 모델에 의해 결정되면서 예측정확도가 떨어진다는 것이다. 또한 (a) 전역모델 및 공분산함수의 적절한 선정 (b) GP 파라미터의 안정적 최적해 (c) 유효한 활용이 되기 위해 많은 데이터가 필요한 점 (d) 데이터 오차에 따른 불확실성의 문제도 있다.

〈그림 1-14〉 Two algorithms in data-driven approaches



(a) Neural network

(b) Gaussian process regression

【물리기반 고장예측(Physics based prognostics)】

물리기반 고장예측방법은 결함성장 또는 열화에 대한 물리모델이 존재할 경우 적용된다. 핵심 아이디어는 현재까지 축적한 건전성 데이터와 하중조건(usage) 데이터를 이용하여 현 시점에서의 열화모델 파라미터를 실시간 추정하는 것이다. 추정된 파라미터를 이용하여 미래 조건에서의 성장거동을 시뮬레이션할 수 있고, 그 결과 임계수준(failure threshold)에 이를 때까지의 잔존수명(RUL)을 추정할 수 있다. 물리기반

예측방법에는 대표적으로 두 가지 - Particle filter 및 Bayesian이 있다.

• Particle filter 방법[38][39]

Particle filter (PF) 방법은 모델 파라미터의 사후분포를 유한개의 파티클 (또는 샘플) 및 그들의 가중치로 표현하는 것이다. 이는 베이지안 추론을 매 데이터 측정시점마다 반복하는 것과 같다. PF는 세 단계로 구성되는 데 (1) 예측단계에서는 전 스텝의 사후분포가 현 스텝의 사전분포가 되고, 이것을 모델에 적용하여 예비 사후분포를 구한다. (2) 갱신단계에서는 이렇게 구해진 분포를 현 시점에서 측정한 데이터 우도(likelihood)에 기반을 두어 가중치를 적용한다. (3) 리샘플 단계에서는 가중치 샘플에 대해 중복 제거를 통해 샘플을 재분배한다. 이렇게 구해진 최종 사후분포는 또 다시 다음 스텝에서의 사전분포가 된다. <그림 1-15(a)>

• Bayesian 방법[40][41]

이 방법은 현 시점에서 지금까지 측정된 모든 데이터를 활용하여 우도를 만들고 이를 바탕으로 모델 파라미터의 사후분포를 추정하는 것이다. 분포가 결정되고 나면 샘플링 기법을 이용하여 해당 분포를 만족하는 샘플을 만들 수 있는데 이를 위한 가장 대표적 방법으로 Markov-chain Monte Carlo (MCMC)을 들 수 있다. 이 방법은 random walk 개념에 기반을 둔 것으로 그 과정을 그림 6(b)에 보였다.

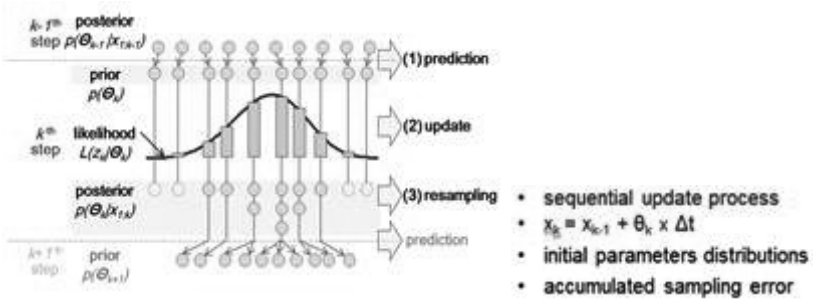
38) DeCastro, J. A.; Tang, L.; Loparo, K. A.; Goebel, K.; and Vachtsevanos, G. "Exact nonlinear filtering and prediction in process model-based prognostics." Proceedings of the annual conference of the prognostics and health management society, (2009).

39) Orchard, M. E. and Vachtsevanos, G. J. "A particle filtering approach for on-line failure prognosis in a planetary carrier plate." International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 7, No. 4, (2007).

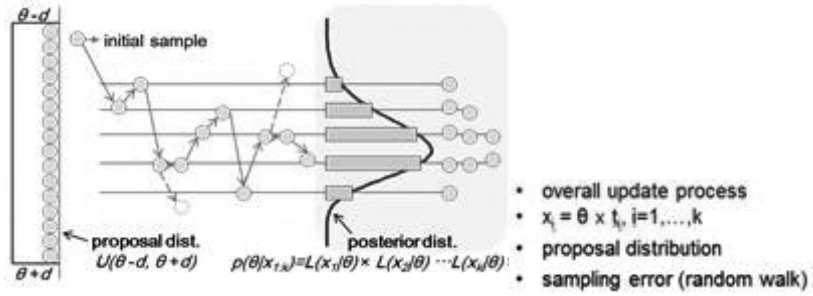
40) Andrieu, C.; DeFreitas, N.; Doucet, A.; and Jordan, M. "An introduction to MCMC for machine learning." Machine Learning, Vol. 50, No. 1, (2003).

41) Doucet, A.; DeFreitas, N.; and Gordon, N. J. Sequential Monte Carlo methods in practice. New York : Springer-Verlag, 2001.

〈그림 1-15〉 Two algorithms in model based approaches



(a) Particle filter



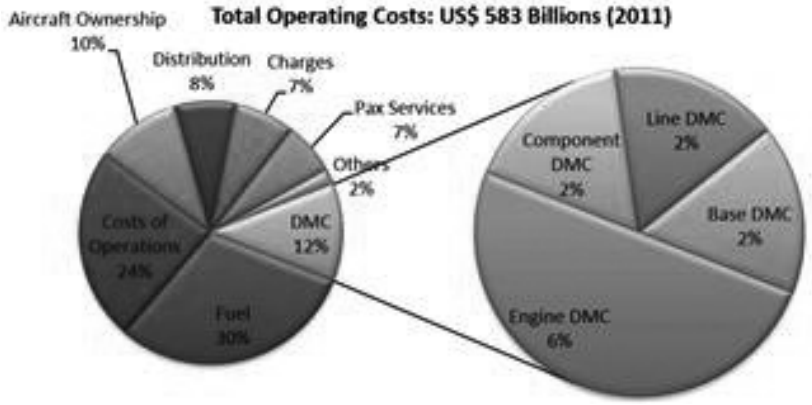
(b) Markov Chain Monte Carlo

3. EHM의 개요

PHM 주요 적용 대상의 하나인 항공기 엔진은 높은 안전도 유지를 위해 많은 정비 비용이 지출되는 대표적 시스템으로서 2011년도 전 세계 민항기의 총운용비 대비 엔진 정비비용이 6%를 차지하고 있으며42), 이를 낮추기 위해 여러 선진국에서 엔진건전성관리(Engine Health Management, EHM) 기술을 개발하고 있다. 〈그림 1-16〉

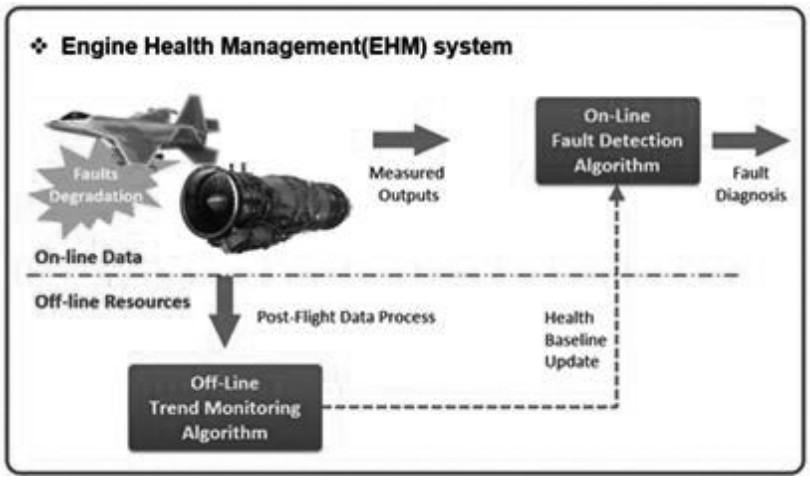
42) Lamoureux, et al. "Improving aircraft engines prognostics and health management via anticipated model-based validation of health indicators." Prognostics journal (2014).

〈그림 1-16〉 Repartition of operating costs for airline companies



EHM은 엔진에 대한 상태 모니터링, 결함탐지, 노화 상태를 추정 및 예측하는 다양한 기능을 수행함으로써 항공기 운영유지비 절감에 큰 역할을 하고 있다. 〈그림 1-17〉 일반적으로 EHM은 온보드와 오프보드의 두 가지 서브시스템으로 구성되며 온보드에서는 실시간 결함탐지를, 오프보드에서는 엔진성능 열화트렌드 모니터링 및 수명예측을 수행한다.[43)44)]

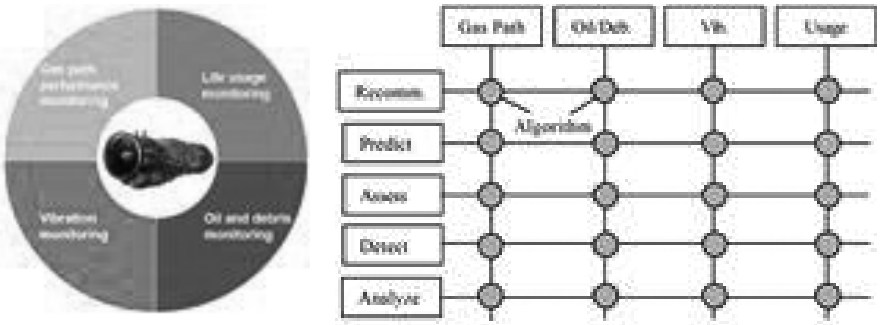
〈그림 1-17〉 Engine Health Management (EHM) system



43) Kobayashi, Simon. "Integration of on-line and off-line diagnostic algorithms for aircraft engine health management." ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea, and Air. American Society of Mechanical Engineers, 2007.

44) Jaw, L. C. (2005). Recent advancements in aircraft engine health management (EHM) technologies and recommendations for the next step.

〈그림 1-18〉 EHM functionality and algorithmic view

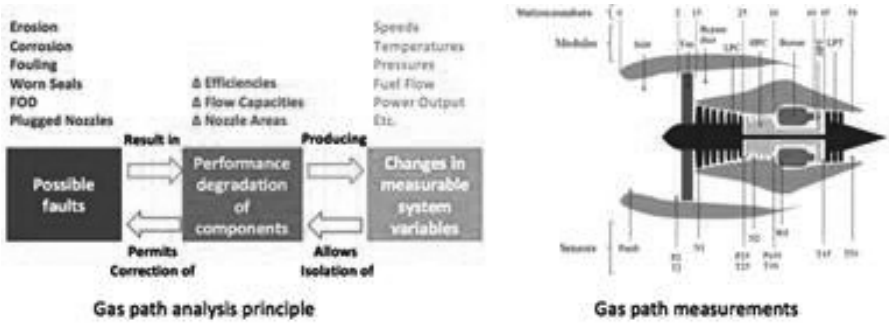


또한 EHM은 기능면에서 볼 때 다음의 네 영역으로 구성되며〈그림 1-18〉, 이들 영역에서 모니터링된 정보를 이용하여 predict, assess, detect, analyze 등 엔진에 대한 다양한 종류의 분석을 수행할 수 있다. [45)46)]

1) Gas path performance trending

EHM의 가장 많은 정보가 이것을 통해서 모니터링 되며, 엔진 내에서 계측된 공기/가스 유동데이터를 Gas Path Analysis (GPA)에 적용하여 엔진 이상여부, 즉 erosion, corrosion, fouling, FOD, worn seals, excessive tip clearance, 블레이드 결함, 노즐 막힘 등의 문제를 진단한다. 핵심은 GPA를 통해 측정변수로부터 엔진내부의 변화를 읽는 것이다. 〈그림 1-19〉 주요 알고리즘은 Kalman filter, Artificial Neural Network 등이 있다.

〈그림 1-19〉 Gas path performance trending



45) Jaw, L. C. (2005). Recent advancements in aircraft engine health management (EHM) technologies and recommendations for the next step.

46) Volponi, Allan J. "Gas turbine engine health management: Past, present and future trends." ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2013.

2) Oil and debris monitoring

엔진 부품 중에서 과다마모나 피로에 의한 입자의 크기나 개수를 측정함으로써 고장을 진단한다. 여기에는 MCD, ECD 등을 이용한 실시간 입자를 카운팅하는 온라인 방법, SEM/EDX, XRF 등을 이용하여 입자원인까지 추적하는 오프라인 방법이 있다.

3) Vibration monitoring

엔진 케이스, 플랜지 또는 기어박스에 설치된 가속도계를 이용하여 건전성 상태를 진단한다. 온라인에서는 진동크기가 사전에 설정한 한계를 넘으면 경고메시지를 보낸다. 오프라인에서는 진동크기 트렌드를 모니터링 하여 imbalance, wear, rub 같은 불량이 발생하기 전에 사전경고를 보낸다. 주요 알고리즘은 Artificial neural network, Similarity-based modeling, Data fusion 등이 있다.

4) Life usage monitoring

결함을 측정하는 센서데이터 대신 결함을 유발하는 운용조건의 센서데이터를 이용하여 수명을 예측하는 방법이다. 최대속도, 온도 등의 정보를 이용하여 디스크나 블레이드의 피로, 산화 및 크리프에 관련된 누적손상도와 잔여수명을 추정하며, 주로 확률분포로 표시된다.

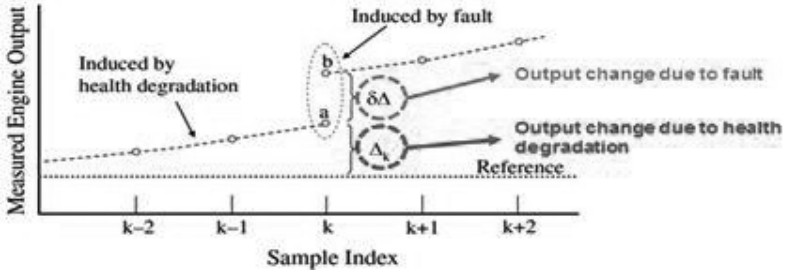
4. EHM의 특징 및 유의점

EHM은 앞서 언급한 대로 온라인에서 실시간 결함탐지, 오프라인에서 사이클 누적에 따른 엔진성능열화 모니터링의 두 가지를 수행한다. 온라인 결함탐지에서는 실제 운항 중 측정되는 센서 데이터를 이용하여 건전성 지수가 기준 값에서 얼마나 벗어나는 지를 실시간 모니터링하고, 한계치를 벗어나면 경고신호를 보내는 역할을 수행한다. 그러나 엔진 사이클이 누적되면서 엔진성능이 열화될 경우, 이는 기준 값을 변화시키는 요인이 되므로 그림 8과 같이 온라인과 오프라인 상호간에 연동을 통해, 온라인의 결함탐지 시스템에 오프라인 열화트렌드 모니터링에서 얻은 건전성 기준 값을 반영하는 시스템의 구축이 중요하다.[47] 이에 대한 개념을 <그림 1-20>에 소개하였

47) Kobayashi, Takahisa, and Donald L. Simon. "Integration of on-line and off-line diagnostic algorithms for aircraft engine health management." Journal of engineering for gas turbines and power 129.4

는데, k번째 사이클에서 결함이 발생했을 경우, 센서 값은 기준치로부터 △k+δ△ 만큼 차이나는 것으로 읽히는데, 여기에는 엔진이 열화함에 의해 사이클 k에서 기준치(reference) 로부터 △k 만큼 차이가 발생한 것이 포함되므로, 이것을 제외한 δ△ 만을 가지고 결함여부 판정을 해야 한다.

〈그림 1-20〉 Influence of health degradation and faults



Ⅱ. 항공기 엔진에의 PHM 적용

1. 항공기 엔진의 온오프라인 운용데이터 분석

본 연구를 위해 공군 F404 엔진 운용 데이터를 입수하여 1차 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

〈표 1-4〉 공군 운용 데이터 파일 명 설명

파일명	설명
Config	사용하고 있는 항공기 엔진 시리얼 넘버와 항공기 기종과 같은 간략한 정보
Engine usage data tag	항공기 엔진의 사용 장소, 엔진번호와 같은 사용 정보
Event	유사시에만 만들어지는 파일로, 엔진 flight recorder data, 각 파트 별 센서 값 존재함.
Usage time history	GE에 보내는 sending data, 각 파트 별 센서 값 존재(event 보다 적은 개수)

(2007): 986-993.

LUI	엔진 사용시간과 센서 값 존재함. 몇 초, 몇 분 단위가 아니라 시동, 이륙, 착륙, 정지에 따라 센서별로 하나씩 값이 나옴
FADEC BIT	fault code
PFLMFL	flight log

이중에서 엔진의 상태진단 및 고장예측을 수행할 대상 데이터 파일은 다음 표와 같다.

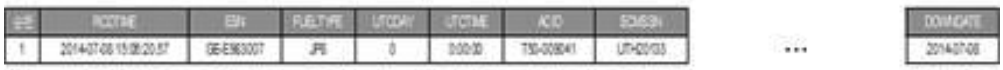
〈표 1-5〉 PHM을 적용할 대상 데이터 파일

파일명	설명
Event	센서 값을 이용한 데이터 접근 방식의 건전성 지수 및 열화 정도 파악
Usage time history	
LUI	엔진의 수명 식을 이용한 사용시간 계산 및 기계학습을 이용한 센서 값 분석을 통한 수명 파악의 비교
FADEC BIT	고장 코드 이해를 통해 고장과 비고장의 labeling

각 파일 별 역할 및 내용은 다음과 같다.

1) Config data

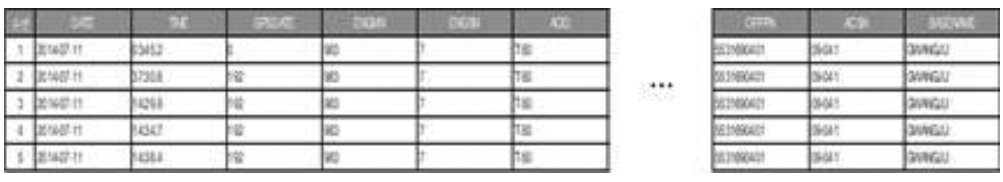
〈그림 1-21〉 Config data



Config data의 경우 〈그림 1-21〉와 같이 engine serial number, fuel type, aircraft type, downdate, FADEC software ID 와 같이 엔진의 기본적인 사용 정보를 포함하고 있다. 예를 들어 이 데이터를 이용하여 군용유를 JP8을 쓰고 T-50 안에 들어가는 엔진이라는 것을 파악할 수 있다.

2) Engine usage data tag

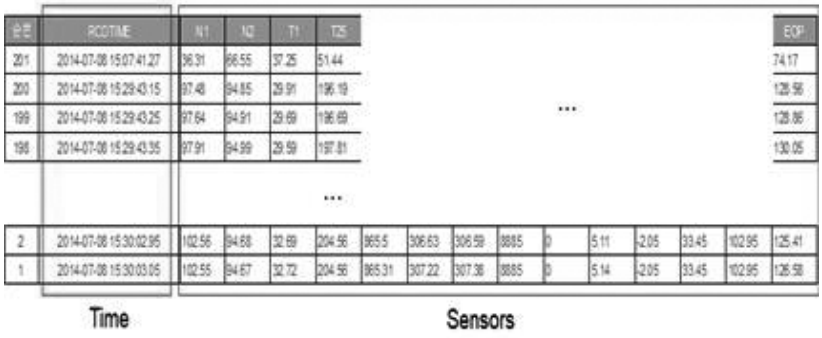
〈그림 1-22〉 Engine usage data tag



Engine usage data tag는 〈그림1-23〉과 같이 Config data 보다 더 자세한 specification을 제공하는데, 주로 사용에 대한 좀 더 자세한 정보를 포함한다. 이 데이터에서는 engine number, VADR serial number, 사용 base 이름(광주)와 같은 추가적인 사항을 확인 할 수 있으며, 운용 시간, 날짜를 파악할 수 있다.

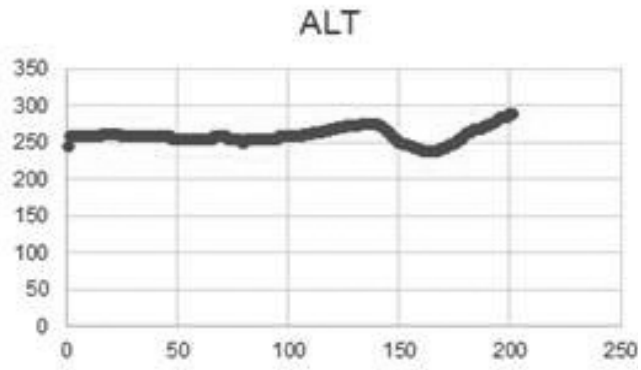
3) Event data (in-flight phase of aircraft)

〈그림 1-23〉 Event data



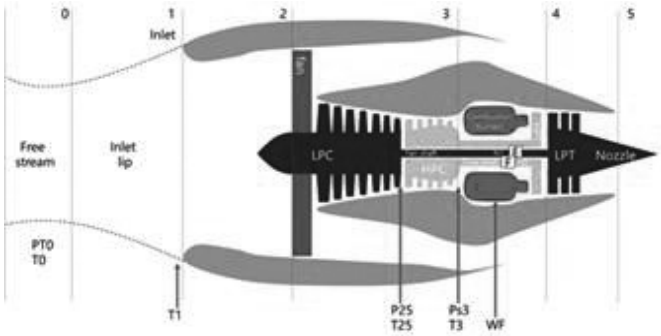
엔진이 비행중인 상태일 때(상공에 떠 있을 때)의 시간과 sensor값들을 수집한 데이터이다. 총 36개의 센서 값들을 수집하는데, 실시간 센서 데이터인 경우도 있고 프로그램으로부터 나오는 값도 있다. 〈그림 1-24〉 이 데이터는 각각 온도, 속도, 고도 등의 가스 터빈 엔진의 섹션 별 대표 값이 수집되어 저장된 것이다. 이 데이터가 상공에서 수집된 데이터임을 알 수 있는 지표는 altitude로 아래와 같은 〈그림1-24〉를 통해 확인할 수 있다.

〈그림 1-24〉 항공기 엔진의 고도 값



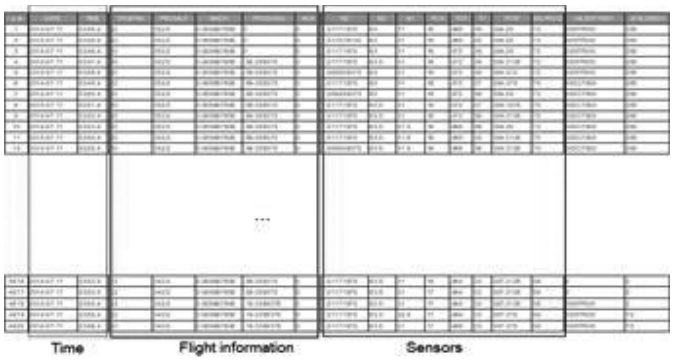
데이터가 어느 섹션의 어느 포인트에서 나오는지는 <그림 1-25>을 통해 나타내었다.

<그림 1-25> 엔진 데이터 센서 위치



4) Usage time history

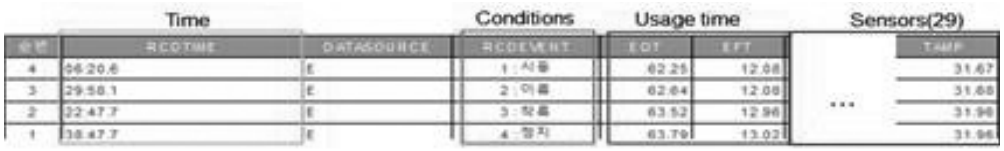
<그림 1-26> Engine time history



<그림 1-26>과 같이 Usage time history 데이터는 time, flight information, sensor 값들이 종합적으로 포함된 데이터이다. 어떠한 이벤트가 발생할 때, GE 측에 송부하여 문제를 파악하기 위해 만들어지는 데이터로 시간에 따른 고도 변화, 실시간 센서 값들이 모두 포함되어 있다. 여기서 사용되는 센서는 총 15개로 위에서 VADR type 4를 기반으로 만들어 진다.

5) LUI data

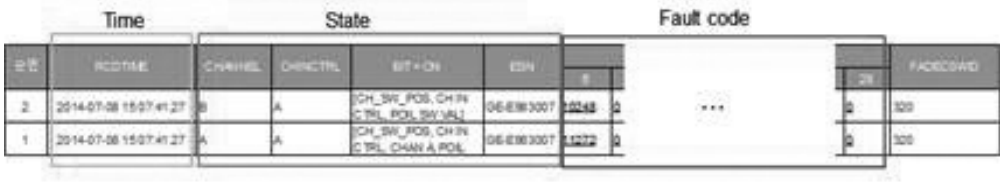
〈그림 1-27〉 LUI data



엔진의 수명 데이터로 불린다는 이 데이터는 〈그림 1-27〉에서 확인 할 수 있는데, 시간, 운용상태 (시동, 이륙, 착륙, 정지), 이용시간 (EOT, EFT), sensor값들로 구성되어 있다. 위의 event 와 usage time history 데이터와는 달리, 시간대 별로 데이터가 구성되어 있다기보다는 condition에 따라 하나의 값들이 기록된다. 또한, 현재 공군에서는 sensor값들을 사용하지 않고 usage time으로만 수명을 계산하여 정비를 진행하는데, 여기에는 EOT와 EFT가 사용된다. EOT는 비행기가 시동을 켜고 난 뒤 호버 미터가 시작되는 순간부터 엔진이 꺼지는 순간까지의 기록이다. EFT는 비행기가 이륙하여 지상에 내려오는 순간까지의 기록이다. 이 데이터를 이용하여 수명을 계산하는 공식이 있다고 한다.

6) FADECBIT

〈그림 1-28〉 FADECBIT



〈그림 1-28〉는 결함 code를 기록한 데이터로, 어떤 결함이냐에 따라 code number가 달라질 것이라고 추측한다. 코드 외에도 시간, 상태 등의 데이터를 포함한다.

7) PFLMFL

〈그림 1-29〉 PFLMFL

순번	RCDTIME	MSGCODE	DESCRIPT	MFL	ACMSG	ESN
28	2014-07-08 15:06:20.57	9100	Engine Start (LUI = 1)			GE-E983007
27	2014-07-08 15:07:41.27	150	BUMP Switch Not in Auto on Grnd	ENG 006	ENG XFER ON	GE-E983007
26	2014-07-08 15:07:53.38	150	BUMP Switch Not in Auto on Grnd	ENG 006	ENG XFER ON	GE-E983007
25	2014-07-08 15:07:53.38	410	Primary IGN ON	ENG 120		GE-E983007
24	2014-07-08 15:18:07.81	410	Primary IGN ON	ENG 120		GE-E983007
23	2014-07-08 15:18:39.21	410	Primary IGN ON	ENG 120		GE-E983007
...						
2	2014-07-08 16:34:46.38	410	Primary IGN ON	ENG 120		GE-E983007
1	2014-07-08 16:38:47.69	9120	Engine Shutdown (LUI = 4)			GE-E983007

비행기가 어떻게 운용이 되었는지에 대한 비행 기록이다. 엔진 시동이 걸린 순간부터 셧다운 될 때까지 시간 기록, engine serial number등의 기록이 함께 제공된다. 〈그림 1-29〉

한편 각 데이터 파일에 수록된 여러 용어에 대해 파악한 결과는 〈표1-6〉과 같으며, 일부 알 수 없는 부분이 여전히 있다. 표에서는 용어를 확실하게 파악한 부분, 추측했지만 아닐 수도 있는 부분, 그리고 아예 무엇인지 파악이 불가능한 부분으로 나누어 정리하였다.

〈표 1-6〉 엔진데이터 용어 파악결과

	파악 가능한 용어		추측한 용어		모르는 용어
config	RCDTIME	Record time	UTCDAY	협정표준날짜	FADECSWID
	ESN	Engine serial number	UTCTIME	협정표준시간	ECMSSWID
	FUEL TYPE	Fuel type	ECMSSN	엔진 상태 점검 장치	SEQCODE
	JP8	군용유	UTH20133	점검장치번호	ECMSOPTIME
	ACID	비행기 ID	LUIADAPT	LUI 어댑터 유/무	
	DOWNDATA	다운로드 시간			
Engine usage data tag	ENGMN	Engine mach number			GPSDATE
	ENGSN	Engine serial number			FLTCNT
	VADRSN	Vadr 시리얼 번호			OFPPN

	파악 가능한 용어		추측한 용어		모르는 용어
	BASENAME	광주 비행단			ACSN
					MSNTYPE
Engine usage time history	Mach	마하수	PRESALT	Present altitude	TRGPR6
	AOA	Angle of attack	NZ	노즐	TRUEHDG
	N2	Compressor turbine speed/core speed			OILPRES
	N1	Fan rotor speed			VALIDITYWD1
	PLA	출력 레버각			STALEWDV
	TET	터빈 배기온도			
	T1	Fan inlet temperature			
Event	T25	HPC inlet temperature	CHIP	불순물	DISCR20
	T5	Turbine outlet temperature	NO4CHIP	불순물	DISCR21
	P3B	HP Compressor blade temperature			DISCR22
	PS3	Compressor discharge static pressure			DISCR23
	WFM	Main engine fuel flow			DISCR35
	WFR	Afterburner fuel flow			NA
	ALT	Altitude			AOR
	MN	Mach number			AOP
	PT0	Outside Total pressure			REASON
	CVG	Compressor variable geometry or compressor IGV and stator angle			
	FVG	Fan variable geometry or pilot valve to direct fuel pressure			
	A8POS	Exhaust nozzle, geometry variable			
	EOP	Engine oil pressure			

	파악 가능한 용어		추측한 용어		모르는 용어
Event	T0	Free stream inlet temperature			
	KCAS	Knot calibrated airspeed			
	TKAS	Knots true Airspeed			
	AOSS	Angle of Side Flip			
	TFADEC	FADEC Temperature			
	N2DT	N2/DT			
	PLA	Power lever angle			
Fadec bit					channel
					Chinctrl
					Bit=on
					Word 6~28
HEAD inform	Record data type	Record data type			SAU serial number
	Tail number	Aircraft tail number			OFP
					DECOMP
					ASCDB
					Create program
					DDF Date/time
					DDF download
LUI			EFTC	Equivalent full thermal cycle	ABOT
			N1P1~P5	Fan speed의 구역별 P1~P5	TAMP
			N2P1~P5	core speed의 구역별 P1~P5	SRC
			PS3P1~P5	압축기 배출 압력의 P1~P5	N1FULL
					N2FULL
					ABINIT
					TQ3P1~P5
PFL MFL	MFL	결함 장비 목록			MSGCODE
					ACMSG

2. 항공기 엔진의 데이터기반 PHM 기법 적용

본 연구에서는 데이터기반 PHM을 실 엔진 운용데이터에 적용하기 전에 가상 시뮬레이션 데이터를 통하여 기법 구축을 시도하였다. 이를 위해 CMAPSS 데이터를 이용하였는데, 이것은 NASA에서 제공하는 터보팬 엔진 시뮬레이션 모델로부터의 얻은 Run-to-failure 데이터 세트이다. C-MAPSS는 연료 공급 및 13개의 health parameter를 포함한 총 14가지의 입력 값을 통해 고장 및 열화의 영향을 고려한 출력 데이터를 얻을 수 있다. 고장 및 열화의 대상은 엔진의 주요 부품인 팬, 저압 압축기, 고압 압축기, 저압 터빈, 고압 터빈으로 총 5개로 이루어져있다.

데이터 세트에는 시스템의 전체 수명에 대한 결함의 성장을 확인할 수 있는 training 데이터와 결함에 의해 시스템이 다운되기 전에 끝나는 test 데이터로 구성되어 있다. <표 1-7> 따라서 Training 데이터를 이용하여 test 데이터의 수명을 예측하는 것이 C-MAPSS 분석의 목적이라고 할 수 있다.

<표 1-7> C-MAPSS 데이터 세트 구성

Data set	FD001	FD002	FD003	FD004
Train	100	260	100	249
Test	100	259	100	248
Operating conditions	1	6	1	6
Fault conditions	1	1	2	2

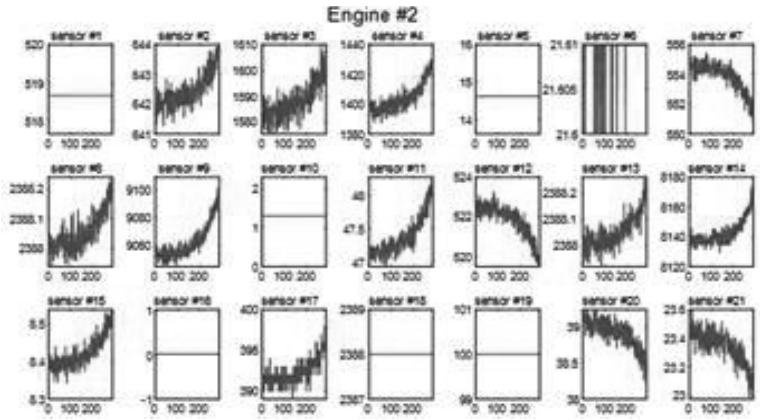
본 연구에서는 4개의 데이터 세트 중 하나의 운용 조건(operating condition)과 결함 조건(fault condition)을 갖는 'FD001'에 신경망 기법을 적용하여 RUL 예측을 진행했다.

CMAPSS 데이터 구조는 그림 21과 같으며 여기서 'unit' 열은 엔진의 종류를 나타내며 총 100개의 엔진이 존재한다. 6열 ~ 26열은 해당 엔진과 해당 시간에 대한 21가지의 센서 데이터를 의미한다. <그림 1-31>에 두 번째 엔진의 모든 센서 데이터 그래프를 나타내고 있다.

〈그림 1-30〉 C-MAPSS 데이터 구조

unit	time	Operating settings			sensors											
Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	~	Var20	Var21	Var22	Var23	Var24	Var25	Var26
1	1	-0.0007	-0.0004	100	518.67	641.82	1589.7		8.4195	0.03	392	2388	100	39.06	23.419
1	2	0.0019	-0.0003	100	518.67	642.15	1591.8		8.4318	0.03	392	2388	100	39	23.424
1	3	-0.0043	0.0003	100	518.67	642.35	1588		8.4178	0.03	390	2388	100	38.95	23.344
1	4	0.0007	0	100	518.67	642.35	1582.8		8.3682	0.03	392	2388	100	38.88	23.374
1	5	-0.0019	-0.0002	100	518.67	642.37	1582.8		8.4294	0.03	393	2388	100	38.9	23.404
1	6	-0.0043	-0.0001	100	518.67	642.1	1584.5		8.4108	0.03	391	2388	100	38.98	23.367
1	7	0.001	0.0001	100	518.67	642.48	1592.3		8.3974	0.03	392	2388	100	39.1	23.377
1	8	-0.0034	0.0003	100	518.67	642.56	1583		8.4076	0.03	391	2388	100	38.97	23.311
:	:	:	:	:	:	:	:		:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:		:	:	:	:	:	:	:

〈그림 1-31〉 두 번째 엔진의 모든 센서 데이터



신경망 기법을 이용한 RUL 예측과정은 다음과 같다.

• 데이터 신호 처리

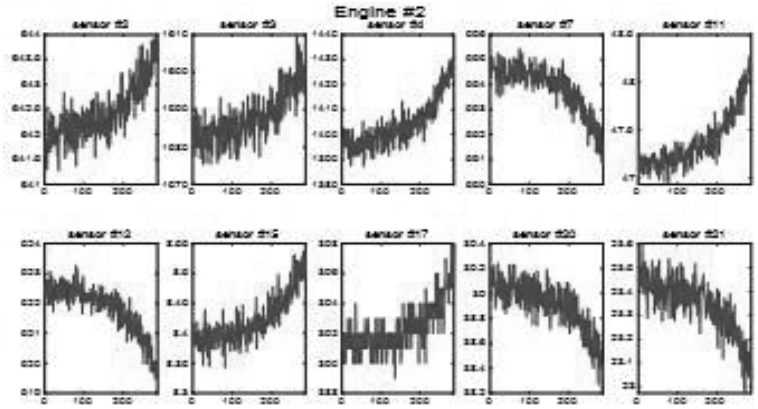
RUL 예측을 효율적으로 진행하기 위해 총 21가지의 센서 데이터 (혹은 특징 값) 중 다음과 같은 Spearman 상관계수 식을 통해 그 값이 0.5를 넘는 센서 데이터 10종 만 선별하였다. 〈그림1-32〉

$$r_s = \rho_{rg_X, rg_Y} = \frac{cov(rg_X, rg_Y)}{\sigma_{rg_X}\sigma_{rg_Y}} \quad (1)$$

〈표 1-8〉 Spearman 상관계수 계산 결과

sensor	#2	#3	#4	#7	#11	#12	#17	#20	#21
results	0.5344	0.5287	0.6050	0.5777	0.6150	0.5928	0.5531	0.5683	0.5695

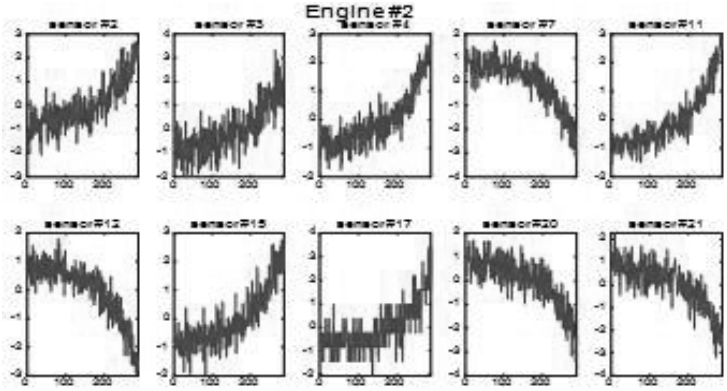
〈그림 1-32〉 두 번째 엔진에서 선별된 센서 데이터



이렇게 선정된 센서 데이터에 대해 센서 값에 따른 영향을 없애기 위해 초기부터 fail 까지 모든 데이터의 평균과 표준편차를 구한 후 다음과 같이 정규화하였고 그 결과는 〈그림 1-33〉와 같다.

$$r_s = \rho_{rg_X, rg_Y} = \frac{cov(rg_X, rg_Y)}{\sigma_{rg_X}\sigma_{rg_Y}} \quad (10)$$

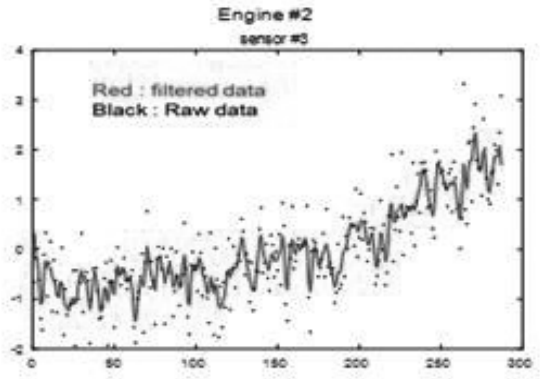
〈그림 1-33〉 정규화된 센서 데이터



• 노이즈 제거를 위한 필터링

센서 데이터에는 노이즈가 포함되어 있기 때문에 정확한 수명 예측이 힘들 수 있으므로 가우시안 커널 필터를 사용하여 노이즈를 제거하였다. 〈그림 1-34〉

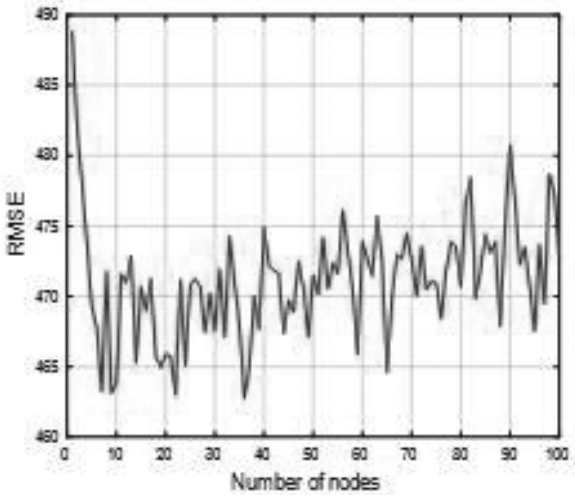
〈그림 1-34〉 필터링을 거친 세 번째 센서 데이터



• 인공 신경망 모델의 최적의 노드수 설정

Multi-Layer Perceptron(MLP)을 이용하여 인공 신경망의 구조를 설정하고 최선의 결과를 도출 할 수 있도록 연구를 진행하였는데, 이를 위하여 최적의 노드 수를 설정하는 것이 필요하다. 최적의 노드 수 설정을 위한 다양한 방법론이 존재하지만 일반적으로 정해진 방법이나 특별히 뛰어나다고 알려진 알고리즘은 존재하지 않는다. 따라서 RMSE를 이용하여 최적의 노드 수를 설정하였다. 〈그림 1-35〉과 같이 노드 수를 1에서 100까지 하나씩 늘리면서 총 15회씩 진행한 RMSE의 평균을 이용하여 최적의 노드수가 몇 개인지 탐구하였다. 일반적으로 layer의 개수는 입력과 출력 layer를 포함하여 3-5개 사이를 이용하기 때문에 layer의 개수와 노드수의 개수를 늘리며 최적의 조건을 찾아내었다.

〈그림 1-35〉 RMSE per the number of nodes (1~100)



• 인공 신경망 모델 생성의 training function 선별

인공 신경망이 global minimum 값을 찾아가기 위해 계산에 사용되는 함수는 다양하다. 지금 다루고 있는 이 문제에 최적화된 training function을 찾기 위해 노드수를 고정하고 training function을 변경하면서 각 function별 15회씩 반복적으로 계산하여 연구를 진행하였다. MATLAB에 내장된 training function을 이용하여 RMSE값과 각 training 시간을 계산하고 비교한 결과는 아래와 같다. 시간과 RMSE값을 계산하여 비교하였고 그 결과 이 문제에는 trainlm이 가장 적합하다는 결론을 얻었다.

〈표 1-9〉 List of train algorithm in MATLAB

Function	Algorithms
trainlm	Levenberg-Marquardt
trainbr	Bayesian Regularization
trainbfg	BFGS Quasi-Newton
traincgb	Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
traincgf	Fletcher-Powell Conjugate Gradient
traincgp	Polak-Ribiére Conjugate Gradient
trainoss	One Step Secant
traingdx	Variable Learning Rate Gradient Descent
traingdm	Gradient Descent with Momentum
traingd	Gradient Descent

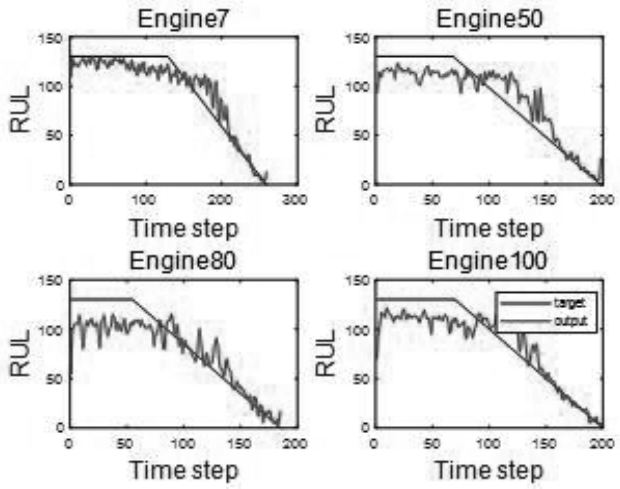
〈표 1-10〉 RMSE 값 계산

	trainlm	trainbr	trainbfg	traincgb	traincgf	traincgp	trainnoss	traingdx
Time(s)	1.008	7.083	22.888	1.4716	1.5439	1.4265	2.3326	0.6762
RMSE	464.3	466.1	480.02	478.26	483.07	475.19	479.03	528.61

• 인공 신경망 모델 적용

최적화된 training function과 노드 수를 이용하여 MLP의 구조를 생성하고 인공 신경망 모델을 학습시켰다. target값을 잔존 유효 수명으로 두고 입력 값을 앞에서 진행한 전처리 과정을 거친 센서 값으로 두어 모델을 생성하였다. 인공 신경망을 이용하여 나온 결과와 target값을 〈그림 1-36〉에 비교하였다.

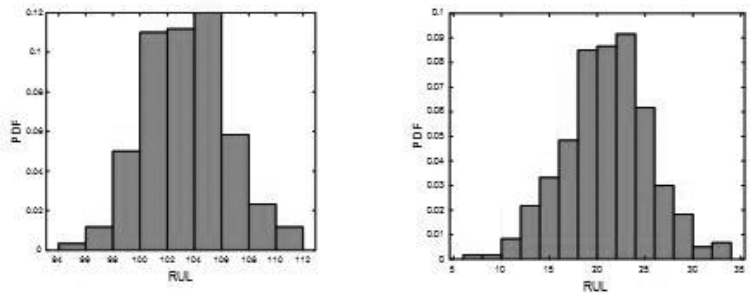
〈그림 1-36〉 RUL trend using the trained neural network



• 잔존 유효 수명을 이용한 히스토그램

인공 신경망은 확률 통계를 기반으로 반복적인 계산을 이용하여 최솟값을 찾아가는 과정이기 때문에 답이 일정하게 나올 수 없다. 답이 여러 개가 나올 수 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 히스토그램 개념을 도입하였다. 100회의 반복을 통해 각 엔진별 100개의 잔존 유효 수명 값을 구하여 〈그림 1-37〉과 같이 히스토그램 그래프를 그릴 수 있고 이 그래프의 하한 값을 사용하였다.

〈그림 1-37〉 Distribution of RUL estimation from engine 7 and engine 100



• 잔존 유효 수명 평가

예측한 잔존 유효 수명과 정답이라고 알려진 잔존 유효 수명 값을 비교해 보고 결과를 확인 할 수 있다. 값의 차를 다음과 같은 식을 이용하여 점수를 계산할 수 있는데 정답보다 더 사용할 수 있다고 예측한 결과일수록 패널티가 더 크고 일찍 예측한 결과일수록 패널티가 더 작다. 다른 논문과의 결과 값을 비교한 것은 아래 표와 같다.

$$S = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} e^{-\left(\frac{d}{a_1}\right)} \text{ for } d < 0 \\ \sum_{i=1}^{n} e^{-\left(\frac{d}{a_2}\right)} \text{ for } d < 0 \end{cases} \quad (11)$$

where,
S is the computed score,
n is the number of Engines,
d = $\hat{t}_{RUL} - t_{RUL}$ (Estimated RUL - True RUL),
$a_1 = 10, a_2 = 13$

〈표 1-11〉 다른 논문과의 성능 비교

Data Set 1	
Paper #	MLP
1[48]	18000
2[49]	-
3[50]	496.3
4[51]	959.53
MATLAB function	2431

3. 항공기 엔진의 모델기반 PHM 기법 적용

모델기반 PHM은 엔진성능을 분석할 수 있는 해석모델이 필요하며, 이것을 recursive 형태로 바꾸어 Kalman filter 기법을 적용함으로써 <그림 1-37>에서 제시한 온라인 결함탐지와 오프라인 성능열화 트렌딩을 수행할 수 있다. 그러나 현재 F404 엔진의 성능을 해석할 수 있는 모델이 확보되지 못하여 본 절에서는 Kalman Filter (KF)를 이용한 모델기반 접근법에 대한 개요와 함께 F404 엔진은 아니지만 일반적인 항공기용 터보엔진에 대한 해석모델 분석결과를 정리하였다. 아울러, 모델을 이용한 사례의 하나로 위성체 자세제어에 사용된 모터에 대해 RUL예측을 수행한 연구결과를 정리하였다.

【모델기반 항공기 엔진 PHM】

Kobayashi는 항공기엔진 성능해석모델을 이용하여 온라인과 오프라인에 각각 Hybrid KF와 Extended KF를 적용하는 방법론을 제시하였고 이를 <그림 1-38>에 보였다.[52] 이 방법이 구현되려면, 성능해석모델이 필요하며 이는 다음과 같이 주어진다.

48) Zheng, Shuai, et al. “Long short-term memory network for remaining useful life estimation.” Prognostics and Health Management (ICPHM), 2017 IEEE International Conference on. IEEE, 2017.

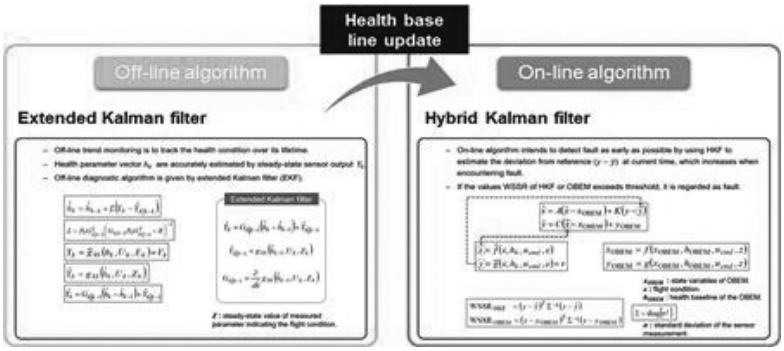
49) Babu, Giduthuri Sateesh, Peilin Zhao, and Xiao-Li Li. “Deep convolutional neural network based regression approach for estimation of remaining useful life.” International conference on database systems for advanced applications. Springer, Cham, 2016.

50) Li, Xiang, Qian Ding, and Jian-Qiao Sun. “Remaining useful life estimation in prognostics using deep convolution neural networks.” Reliability Engineering & System Safety 172 (2018): 1-11.

51) Zhang, Chong, et al. “Multiobjective deep belief networks ensemble for remaining useful life estimation in prognostics.” IEEE transactions on neural networks and learning systems 28.10 (2017): 2306-2318.

52) Kobayashi, Takahisa, and Donald L. Simon. "Integration of on-line and off-line diagnostic algorithms for aircraft engine health management." Journal of engineering for gas turbines and power 129.4 (2007): 986-993.

〈그림 1-38〉 Overall framework of Multi-scale Kalman Filter Approach for EHM



$$\dot{x} = \bar{f}(x, h_k, u_{cmd}, e)$$
$$y = \bar{g}(x, h_k, u_{cmd}, e) + v$$

x : state variables.
y : sensor output.
u_{cmd} : control command inputs.
e : environmental parameters.
v : white noise vector.
h : health parameters.
k : sample index where off-line diagnostics is performed.

여기서 u는 제어변수, h는 주로 팬, 압축기, 터빈 등의 엔진 서브모듈의 효율과 flow 성능을 나타내는 건전성 변수이다. 하나의 운항 사이클 내에서 h는 상수로 놓는다.

$$Y_k = \bar{g}_{SS}(h_k, U_k, E_k) + V_k$$

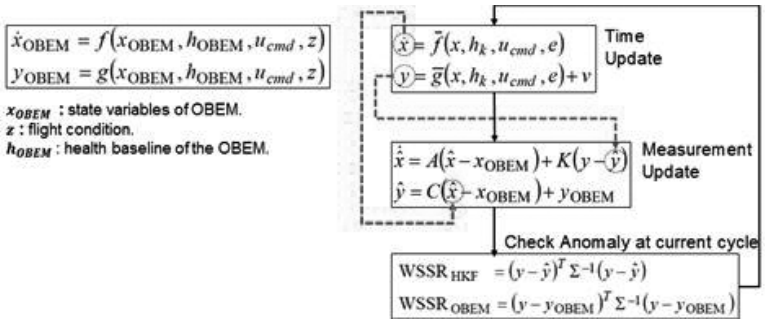
Y : steady state values of sensor outputs.
U : steady state values of control command inputs.
E : steady state values of environmental parameters.
k : sample index.
$\bar{g}_{ss}$: nonlinear function is equivalent to $\bar{g}$ at steady state.
V : steady-state white noise

한편 오프라인에서도 성능열화를 분석할 수 있는 열화모델이 필요하며 이는 다음과 같이 주어진다.

이러한 모델이 주어졌을 때 온라인 결함탐지는 hybrid KF를 이용하여 수행하며 <

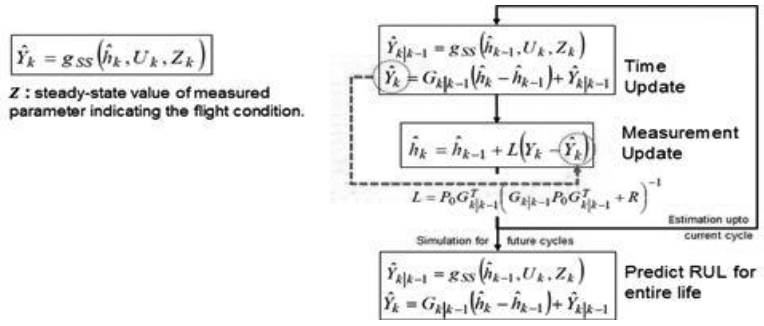
그림 1-39>과 같은 절차를 따른다. (여기서 OBEM은 On-board engine model을 의미함)

<그림 1-39> On line fault detection by hybrid KF



오프라인 열화 트렌딩에 의한 RUL예측은 extended KF를 이용하며 <그림 1-40>과 같은 절차를 따른다. 여기서 건전성 지수 hk는 각 사이클에서 얻은 결과값 Yk의 누적 값을 이용하여 추정한 후, 이것을 미래 사이클에 외삽하여 RUL을 구한다.

<그림 1-40> Off line performance degradation trending by extended KF



【모델기반 위성용 모터 PHM】

위성의 자세를 제어할 때 사용되는 모터에 대해 수명시험 중 생성된 데이터를 이용하여 모델을 이용하여 잔존유효수명(Remaining Useful Life, RUL)을 예측하는 연구를 수행하였다. 위성의 경우에는 자세 제어를 위해 전기 모터 샤프트 위에 반작용 휠(회전체)을 달아 휠의 속도와 관성 모멘트가 변하면서 생기는 토크 값을 이용하여 위

성 본체를 회전시키고 이를 통해 자세 제어를 수행한다 [53]. 이 자세 제어용 모터는 반복 사용에 의해 시간에 따른 감쇠 계수 증가로 모터의 성능 열화가 발생되는데, 신뢰성 있는 작동을 보장하고 반작용 휠의 돌발고장을 예방하기 위하여, 모터가 작동하는 동안 고장 진단을 수행하고 수명 예측을 하는 것은 중요한 요소 중 하나다.

기존의 연구들은 경험이나 직감적인 방법으로 열화 특성인자를 설정하고 데이터에만 의존하여 수명을 예측했기 때문에 물리적 해석에 있어 한계가 있었다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 모델기반 기법을 이용하여 모터의 상태를 실시간으로 진단하고 현재까지 축적된 데이터를 기반으로 하여 고장까지의 잔존 유효 수명(Remaining Useful Life : RUL)을 예측하는 방법을 제시하고자 하며, 이를 위해 멀티스케일 상태진단을 위한 건전성 특성인자는 감쇠계수를 활용하였다. 이는 사이클에 따른 모터의 성능열화가 감쇠계수에 의해 큰 영향을 받기 때문이다.

Multi-scale EKF는 두 단계로 구성되는데, 첫째는 micro EKF를 이용한 상태진단으로 이는 현재 사이클에서 계측된 모터의 실시간 데이터를 모터 동역학 모델에 적용하여 감쇠계수를 추정하는 것이다[54]. 둘째는 macro EKF를 이용한 RUL 예측으로 현재의 사이클 까지 축적한 감쇠계수 열화거동 데이터를 이용하여 고장까지 이르는 RUL을 예측하는 것이다[55]. 이 방법의 유효성을 판단하기 위하여 반작용 휠의 작동을 반복하는 모터의 수명시험을 실시하는 동안 수집한 데이터를 이용하였다. 사용된 모터는 BLDC 타입이고 해당 사양은 <그림 1-41>에서 확인할 수 있다. 위성에 들어가는 모터의 내구성능을 파악하기 위해 항온 항습 장치를 이용하여 고온(60도), 저온(-30도)에서 각각 3년간 (2013.11.19. ~ 2016.12.03.) 반작용 휠의 작동조건에 해당하는 전류와 하중토크를 반복 부여하여 사이클 시험을 수행되었다. 실험 데이터는 각 온도 조건마다 시간, 입력 전류, 출력 각속도 및 각가속도로 구성되어 있으며, 한회의 사이클 동안 측정된 데이터 사례를 <그림 1-42>에 보였다. 이것은 고온 조건의 첫째 사이클 650초 동안 측정주기 0.1초로 계측한 데이터이다. 각 사이클의 길이는 가장 짧은 것은 170초, 가장 긴 것은 100,000초로 사이클 마다 다르며, 고온과 저온에서 각각 62,

53) Sidi, Marcel J. Spacecraft dynamics and control: a practical engineering approach. Vol. 7. Cambridge university press, 2000.

54) Skormin, Victor A., Joseph Apone, and John J. Dunphy. "On-line diagnostics of a self-contained flight actuator." IEEE Transactions on aerospace and electronic systems 30.1 (1994): 186-196.

55) Xiong, Rui, et al. "A data-driven multi-scale extended Kalman filtering based parameter and state estimation approach of lithium-ion olymer battery in electric vehicles." Applied Energy 113 (2014): 463-476.

80 사이클 까지 시험하였다.

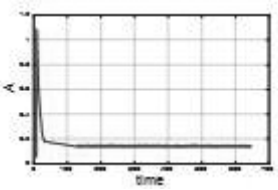
〈그림 1-41〉 Motor for attitude control in satellites

(a) SRB-361-1103 Motor

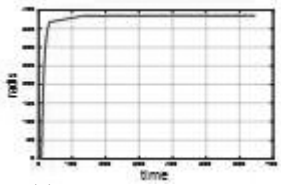
	SRB-361-1103
Angular Momentum @ nom. Speed	0.36 Nms
Physical Dimensions - Diameter - Height - Total mass	 139 mm 51.5 mm 1.38 kg
Wheel Inertia	0.001143 kg.m²
Torque Constant	0.0568 Nm/A
Back-emf Constant	0.0568 Nm/A
Friction Coefficient(Bearing)	1.01×10^{-5} (Bearing : 6000)
Friction Coefficient(Air drag)	0.72×10^{-5}
Current - steady state @ 3000 rpm	(24V) 0.19 A

(b) motor specification

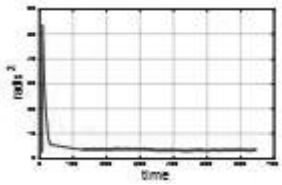
〈그림 1-42〉 Measured input and output of motor in a cycle



(a) Input current



(b) Output angular velocity

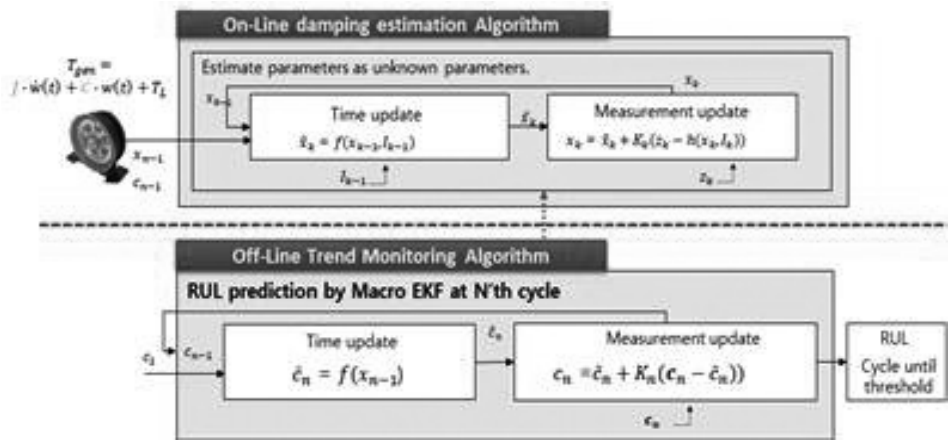


(c) Output angular acceleration

• Multi-scale Extended Kalman Filter

전체적인 multi-scale EKF 과정은 〈그림 1-43〉에 요약되어 있으며 on-line 감쇠계수 추정과 off-line 트렌드 모니터링의 두 단계로 구성된다. 첫 단계에서는 micro EKF의 알고리즘을 이용하여 감쇠계수를 매 사이클 마다 모터의 실시간 계측에 의해 추정한다. 둘째 단계에서는 macro EKF의 알고리즘을 이용하여 현재 사이클까지의 감쇠계수 트렌드를 모니터링한 결과를 바탕으로 RUL을 예측한다.

〈그림 1-43〉 Multi-scale Kalman filter Framework



• Micro EFK 알고리즘을 이용한 on-line 감쇠계수 측정

감쇠계수는 micro EKF 알고리즘에 의해 실시간으로 각 사이클마다 추정된다. 이를 위한 모터 동역학의 지배 방정식은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$T_G = J\dot{w} + cw + T_L \qquad (12)$$

여기서 T_{G} =KI 는 입력 토크 식으로 입력 전류 I 와 토크 상수 K 의 곱으로 계산되며, J 는 모터의 관성 모멘트, rmit w 는 모터의 각속도, dot { w} 은 모터의 각가속도, c 는 감쇠계수 그리고 T_{L} 은 하중 토크를 의미한다. 식(12)을 이용하면 입력전류의 시간에 따른 이력과 하중토크가 주어졌을 때 모터의 출력인 각속도 및 각가속도를 계산할 수 있다. 한편 각가속도를 이용하면 T_{out} =J dot {w} 을 추가적으로 정의할 수 있는데, 이 식은 모터의 성능을 나타내는 지표로 사용할 수 있다.

멀티 스케일 EKF알고리즘을 적용하기 위하여 식(12)은 전 시간에서의 변수 값을 이용하여 현 시간에서의 값을 구하는 재귀적인 형태로 바꿀 수 있는데56), 이를 상태

56) Hu, Chao, Byeng D. Youn, and Jaesik Chung. "A multiscale framework with extended Kalman filter for lithium-ion battery SOC and capacity estimation." Applied Energy 92 (2012): 694-704.

방정식이라 한다. 또한 계측치와 상태변수의 관계를 나타내는 측정 방정식을 이용하며, 이들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} x_k &= f(x_{k-1}, I_{k-1}) + q_{k-1} \\ z_k &= h(x_k) + v_k \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} x_k = \begin{bmatrix} w_k \\ c_k \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} w_{k-1} + (-c_{k-1}w_{k-1} - T_L + KI_{k-1})dt/J \\ c_{k-1} \end{bmatrix} + q_{k-1} \\ z_k = \begin{bmatrix} w_k \\ \dot{w}_k \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} w_k \\ (-c_{k-1}w_{k-1} - T_L + KI_{k-1}) \end{bmatrix} + v_k \end{aligned} \tag{14}$$

여기서 f 와 h 는 각각 상태방정식, 측정방정식을 나타낸다. 상태변수 x _{k} 는 각속도 w _{k} 와 감쇠계수 {{c}} _{k} 로 구성되며, 측정변수 z_{k } 는 각속도 w_{k } 와 각가속도 {dot{w _{k}}} 로 구성된다. 참고로 고장진단용 EKF가 일반적인 EKF와 다른 점은 추정하려는 상태변수에 시스템 상태를 나타내는 각속도 w_{k } 외에 감쇠계수 c _{k} 가 포함되어 있는 것이다. 첨자로 쓰인 k } 는 현재의 시간스텝을 의미하며, q 와 v 는 각각 시스템과 측정치의 노이즈로서 평균이 0, 공분산이 각각 Q 와 R 인 정규분포 N(0,Q) , N(0,R) 를 따른다. 식(14)은 다음과 같이 선형화하여 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_k &\cong Fx_{k-1} + BI_{k-1} + q_{k-1} \\ z_k &\cong Hx_k + v_k \end{aligned} \tag{15}$$

여기서, F, B, H는 각각 다음과 같다.

$$F=\frac{\partial f}{\partial x}=\begin{bmatrix}1-c\cdot dt/J & -w\cdot dt/J\\ 0 & 1\end{bmatrix}$$
$$B=\frac{\partial f}{\partial u}=\begin{bmatrix}dt/J\\ 0\end{bmatrix} \qquad (16)$$
$$H=\frac{\partial h}{\partial x}=\begin{bmatrix}1 & 0\\ -c/J & -w/J\end{bmatrix}$$

On-line 감쇠계수 추정을 위한 EKF과정은 그림 34에서 보듯이 시간 업데이트(time update)와 측정 업데이트(measurement update)의 두 개의 단계로 진행되며 각 단계 별로 다음과 같은 식을 통해 상태변수의 평균과 공분산을 결정한다.

$$\begin{aligned}\tilde{x}_k &= f\left(x_{k-1}, I_{k-1}\right) \\ \tilde{P}_k &= F_k P_{k-1} F_k^T + Q\end{aligned} \quad \begin{matrix}\longrightarrow \\ \longleftarrow\end{matrix} \quad \begin{aligned}x_k &= \tilde{x}_k + K_k\left(z_k - h(\tilde{x}_k)\right) \\ P_k &= \tilde{P}_k - K_k H_k \tilde{P}_k\end{aligned} \qquad (17)$$

〈 Time update 〉 〈 Measurement update 〉

여기서 {K} _{k} 는 Kalman gain 이라 하며 다음과 같이 주어진다.

$$K_k = \widehat{P}_k\, H_k^T \left(H_k \widehat{P}_k H_k^T + R\right)^{-1} \qquad (18)$$

식17, 18에서 ~ 기호의 의미는 k-1 시점에서 k 시점으로 상태방정식에 의한 시간 업데이트를 뜻하는 것으로 이 단계에서는 이때 주어진 입력전류 I_{ k-1} 이 적용된다. 측정 업데이트 단계에서는 이렇게 업데이트된 상태변수를 측정변수 z_{k } 를 통해 보정한다. 여기서 측정변수는 속도 w_{ k} 와 각가속도 {dot{w}} _{k-1} 이다. 이 과정을 다시 정리하면, 시간 업데이트 통해 ~ 기호로 표현된 값을 구한 후 측정 업데이트 통해 보정하고, 이 과정을 매 시점 새로운 측정변수가 주어질 때 마다 반복하면서, 모터의 각속도 및 감쇠계수의 평균과 공분산을 추정하는 것이다.

• Macro EKF 알고리즘을 이용한 Off-line 트렌드 모니터링

Multi-scale EKF의 두 번째 단계는 off-line 트렌드 모니터링으로, 이 단계에서는 macro EKF 알고리즘을 이용하여 현재까지 쌓인 감쇠계수 데이터로 열화도를 추정하고 외삽을 통해 향후의 거동 및 RUL을 예측한다. 반복 사이클에 따른 감쇠계수 c 의 열화는 간단한 선형모델을 이용하여 표현하며 다음과 같다.

$$c(t) = c_0 + a \cdot t \tag{19}$$

여기서 c 는 모터의 감쇠계수, t 는 사이클, 그리고 계수 a 는 macro EKF를 이용하여 추정하는 감쇠계수 열화모델 식의 기울기이다. 앞에서와 같이 식(17)은 EKF 알고리즘을 적용하기 위하여 재귀적인 형태로 변형할 수 있으며, 그 결과 상태 방정식과 측정 방정식은 아래와 같이 주어진다.

$$x_n = \begin{bmatrix} c_n \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{n-1} + a_{n-1}dt \\ a_{n-1} \end{bmatrix} + q_{n-1} \tag{20}$$
$$z_n = c_n + v_n$$

여기서 상태 변수 x_{n} 은 모터의 감쇠계수 c_{n} 과 그것의 열화 기울기인 a_{n} 으로 구성되며, 측정 변수 z_{n} 은 앞 단계에서 구해진 현재 사이클에서의 감쇠계수 추정치이다. 첨자 n은 현재의 사이클을 의미하며, 여기에서도 앞에서와 같이 공분산 Q 와 R 이 적용된다. 이 식을 식(15)처럼 행렬 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_n &= Fx_{n-1} + q_{n-1} \\ z_n &= Hx_n + v_n \end{aligned} \tag{21}$$

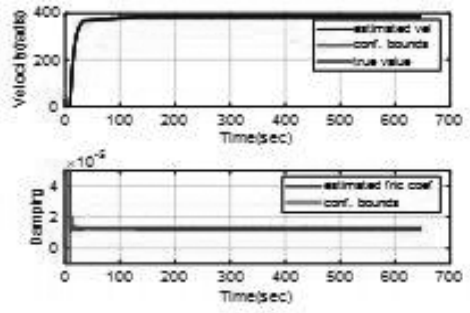
여기서, F , H 는 각각 다음과 같다.

$$F = \frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$H = \frac{\partial h}{\partial x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

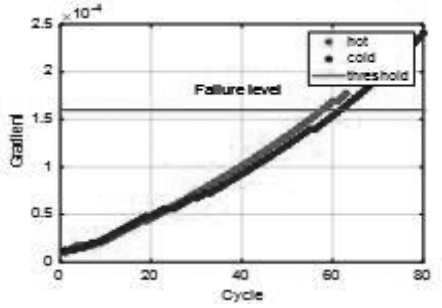
앞 절과 마찬가지로 Off-line 감쇠계수 열화도 추정은 시간 업데이트 (time update)와 측정 업데이트(measurement update)의 두 개의 단계로 진행되며 식(17)을 이용하여 각 단계 별로 상태변수의 평균과 공분산을 결정한다. 앞 절과 다른 점은 F, H 행렬이 식(22)으로 주어지고, 시간변수가 사이클이며, 상태변수가 감쇠계수 및 그것의 열화기울기, 측정변수가 현 사이클에서의 감쇠계수라는 것이다. 이렇게 열화기울기를 추정하면 식(19)을 이용하여 향후의 사이클에서 감쇠계수의 거동 및 고장까지의 RUL을 예측할 수 있다.

• Micro EKF를 이용한 감쇠계수 추정

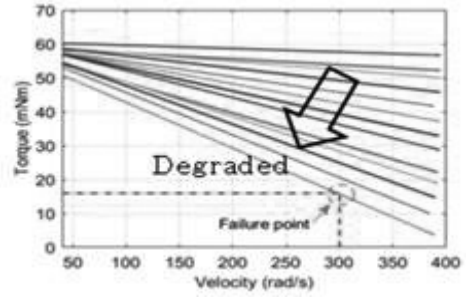
고온조건의 첫째 사이클 동안 측정된 모터 데이터를 첫째 단계인 micro EKF에 적용하여 상태변수, 즉 각속도와 감쇠계수를 추정한 결과, 평균과 95% 신뢰구간을 <그림 1-44>에 보였다. 그림에 의하면 모터가 작동되기 시작하는 초기에는 데이터가 많지 않아 감쇠계수의 추정이 잘 되지 않다가 곧 수렴됨을 확인할 수 있다. 이때 해당 사이클 추정치는 마지막 시점에서의 평균으로 정한다. 이러한 과정을 매 사이클 마다 반복하고, 이를 사이클에 따른 함수로 그릴 수 있는데, 이를 고온과 저온 조건에 각각 적용한 결과를 <그림 1-45>에 보였다. 그림에서 보듯이 사이클이 거듭될수록 감쇠계수가 점점 증가하며, 고온 조건에서 더 빨리 고장에 도달하는 경향이 있다. <그림 1-46>과 <그림 1-47>과 같이 damping의 threshold를 설정한다.



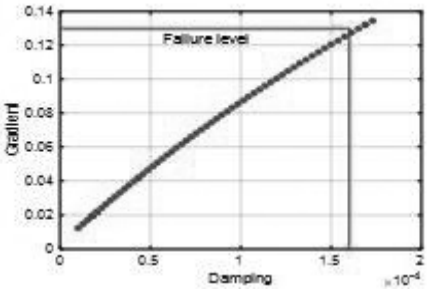
〈그림 1-44〉 Estimated state variables with confidence bounds in a single cycle



〈그림 1-45〉 Damping coefficient degradation over cycles



〈그림 1-46〉 Characteristic curve of motor degrading over cycles



〈그림 1-47〉 Damping coefficient vs. slope of characteristic curve over cycles

• Macro EKF를 이용한 RUL 예측

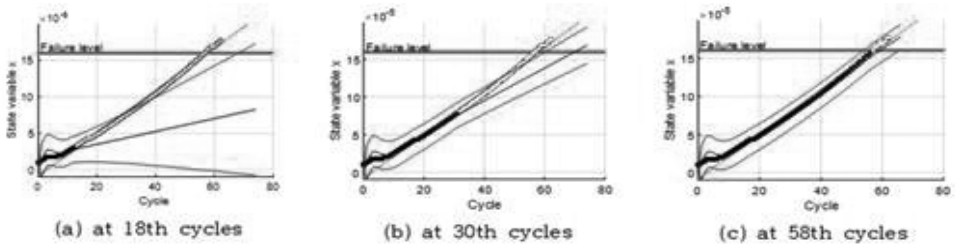
Micro EKF에서 매 사이클 마다 얻은 감쇠계수를 이용하여 macro EKF에 적용하면 사이클 증가에 따른 감쇠계수의 열화도와 열화모델의 기울기를 추정할 수 있으며, 이것을 이용하면 감쇠계수가 고장시점에 도달할 때까지의 남은 수명, 즉 RUL을 예측할 수 있다.

고온조건에서 시험하는 도중 18, 30, 58번째 사이클에서 감쇠계수의 미래거동을 예측한 결과를 〈그림 1-48〉에 보였다. 그림에서 파란색 커브는 예측된 감쇠계수의 평균, 초록색 커브는 그것의 95% 신뢰구간, 검은색 원들은 예측을 위해 현재 사이클까지 사용한 데이터, 흰색 원들은 미래구간에서 실제로 열화된 감쇠계수값을 의미한다. 또한 붉은 수평선은 고장기준을 나타내는 임계치이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 더 많은 감쇠계수의 데이터가 이용될수록, 열화거동 예측이 더 정확해 지고, 신뢰

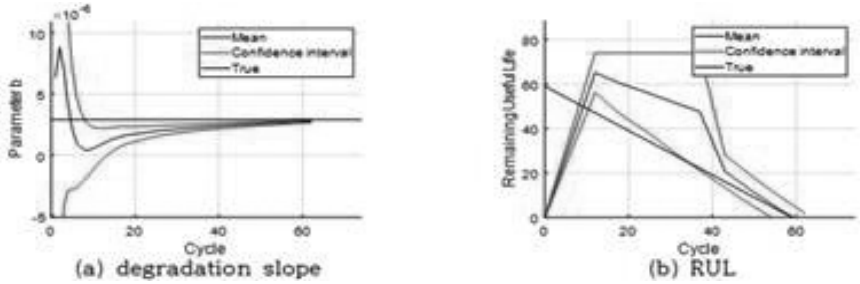
구간이 더 작아짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 저온조건에서도 동일하게 나타나므로 관련 그림 제시는 생략한다.

열화모델의 기울기와 RUL을 <그림 1-498>에 각각 도시하였는데, 여기에서도 파란색과 붉은색은 각각 평균과 95% 신뢰구간을 뜻한다. 또한 고장까지 시험한 데이터가 있으므로 이를 토대로 기울기와 RUL의 참값을 이미 알고 있으며, 이를 검은색 직선으로 표시하여 예측된 결과가 얼마나 일찍 참값을 정확하게 따라가는지를 확인하는 용도로 사용하였다. 기울기의 경우 <그림 1-49>(a)에서 보듯이 사이클이 진행되면서 데이터가 추가될수록 기울기가 아래에서부터 점차 참값 2.8에 수렴하고 있다. RUL의 경우 <그림 1-49>(b)에서 보듯이 수명이 59사이클이므로 사이클이 진행될수록 참값 RUL은 선형적으로 감소하며, 예측치 역시 기울기와 같은 경향, 즉 평균이 참값에 수렴하고 신뢰구간이 좁아짐을 알 수 있다. 실제 RUL 예측결과를 활용하려 한다면 신뢰하한을 선택해야 하며, 이는 참값에서 크게 벗어나지 않으므로 본 결과가 유효하다고 볼 수 있다. 동일한 그래프를 저온조건에 대해서도 만들었으며 이는 <그림 1-50>에 있다. 여기서 기울기의 참값은 2.9, RUL 참값은 62 사이클이다.

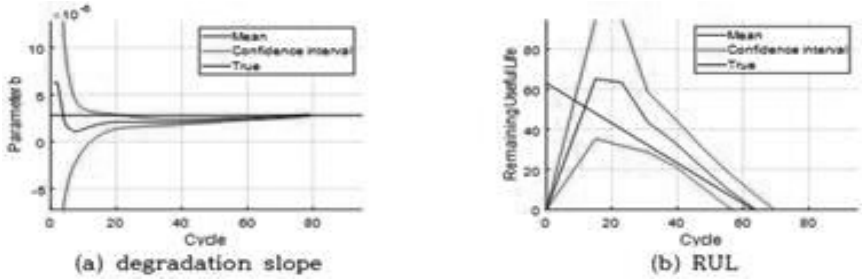
<그림 1-48> RUL prediction of damping coefficient during the cycles



<그림 1-49> Degradation slope and RUL prediction over cycles (high temperature)



〈그림 1-50〉 Degradation slope and RUL prediction over cycles (low temperature)

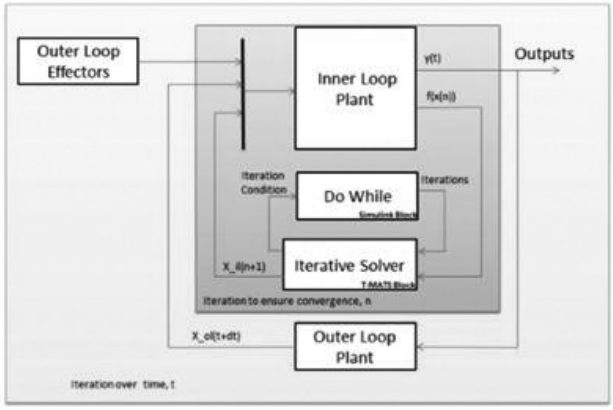


【Toolbox for the Modeling and Analysis of Thermodynamic Systems (T-MATS)】

본 연구에서는 MATLAB T-MATS를 이용하여 가스터빈 엔진의 시뮬레이션과 그 분석이 이루어 졌다. T-MATS는 열역학적 모델링에 맞게 시뮬레이션 데이터를 얻을 수 있는 프로그램으로 결함 조건이나 장기간의 열화를 적용시킬 수 있다.

〈그림 1-51〉는 가스터빈의 열역학 분석 구조를 보여주고 있다. inner loop plant는 3가지의 입력 값을 통해 열역학적 분석 결과를 도출해내는데 그 입력 값은 마하수, 연료 량 등 운영 조건 파라미터를 의미하는 outer loop effector, outer loop plant, inner loop plant로 이루어져 있다. 매 루프마다 Newton-Raphson 기법을 이용하여 반복적으로 변수의 값을 계산한다.

〈그림 1-51〉 역학 시스템 분석 구조



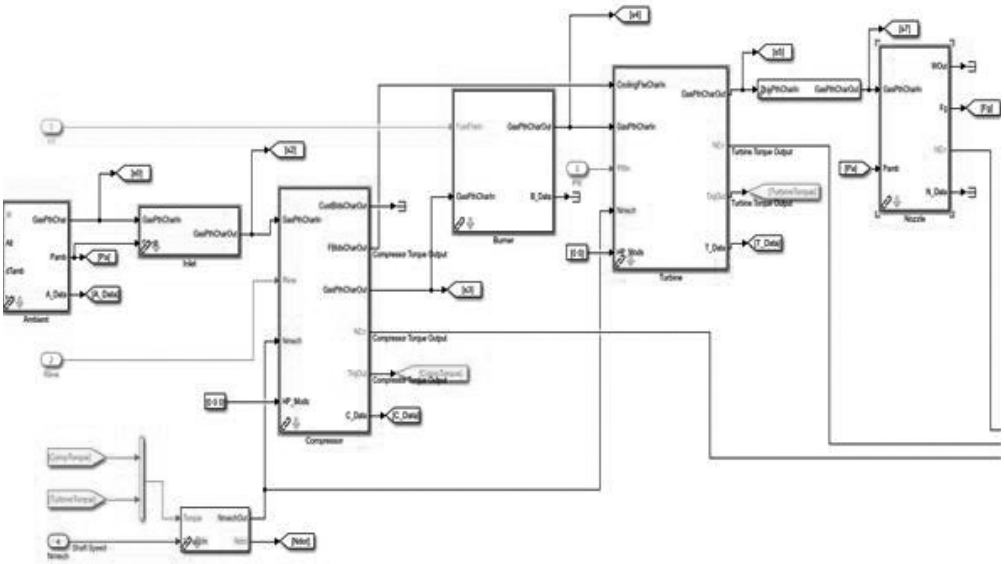
〈표 1-12〉의 초기 조건을 이용하여 생성한 터보 제트 엔진의 시뮬레이션 모델을 그림 42로 확인할 수 있다. 모델은 엔진의 기본 구성 요소인 입구, 대기(ambient), 압

축기, 버너, 터빈, 덕트, 노즐, 축을 블록으로 나타내어 각각의 블록에 맞는 입력요소와 출력요소로 서로를 연결시킨다. <그림 1-52>

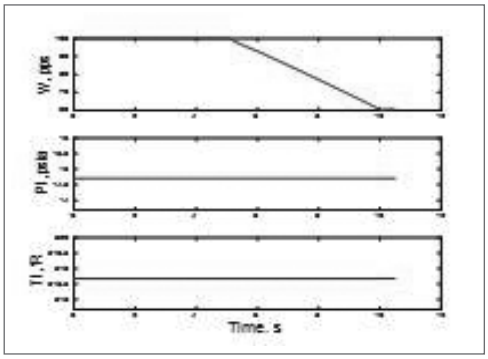
<표 1-12> 초기 조건

Conditions	Values
Altitude, Alt	0 ft
Temperature, T	Standard day (518.67 R)
Simulation time	10.5 sec
Speed	10000 rpm
Mass flow	100 pps

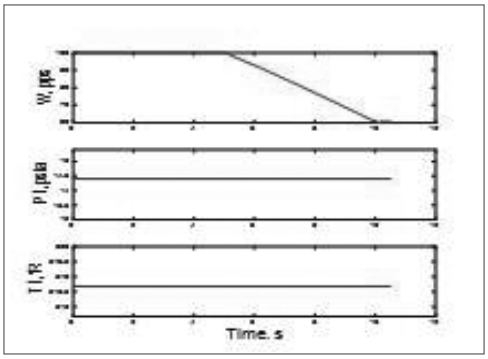
<그림 1-52> T-MATS 터보 제트 엔진 모델



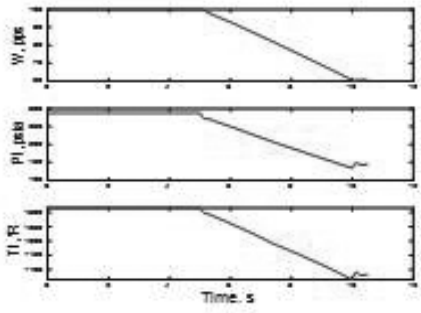
시뮬레이션의 결과로 다음의 그래프<그림 1-53> ~ <그림 1-56>들을 얻을 수 있다. 각각의 블록 혹은 구성요소의 10초 동안의 W(Mass flow), Pt(total pressure), Tt(total temperature)를 나타낸다.



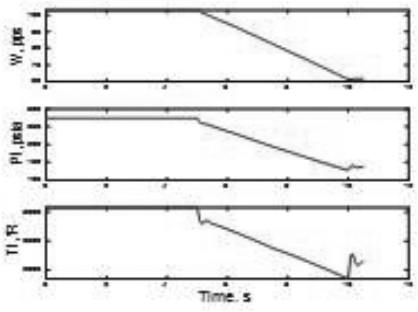
〈그림 1-53〉 States in the ambient



〈그림 1-54〉 States in the inlet



〈그림 1-55〉 States in the compressor

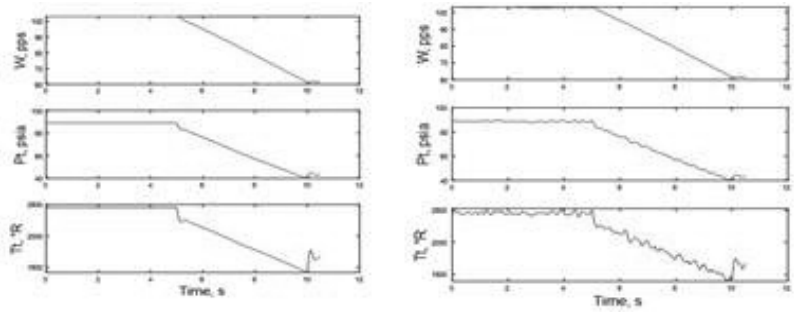


〈그림 1-56〉 States in the burner

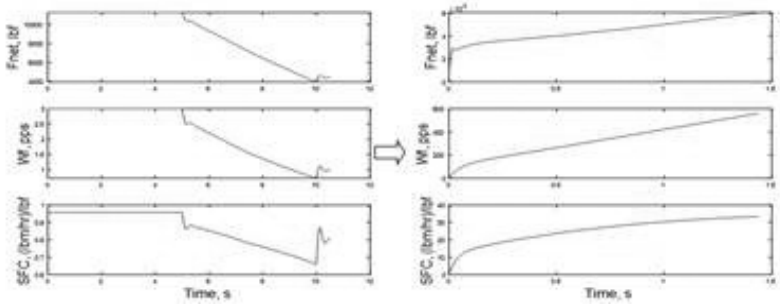
• 결함 및 노이즈 추가

T-MATS에서 제공하는 "1st order sensor"를 이용하여 결함과 노이즈가 존재하는 신호를 얻을 수 있다. 노이즈와 결함을 추가한 데이터 비교는 아래의 〈그림 1-57〉, 〈그림 1-58〉에서 볼 수 있다.

〈그림 1-57〉 S7(nozzle) vs. S7(nozzle) with noise



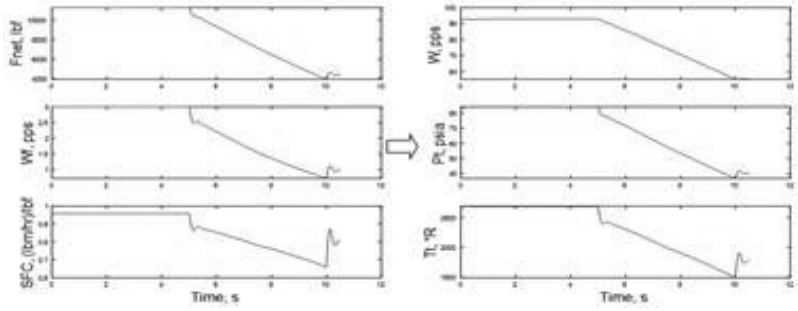
〈그림 1-58〉 Nozzle exit condition vs. nozzle exit with gain fault (0.5)



• 건전성 지수를 이용한 시뮬레이션 모델의 열화

압축기와 터빈의 건전성 지수를 이용하여 모델의 열화를 표현할 수 있다. T-MATS의 압축기와 터빈 블록에서 건전성 지수를 활성화하여 열화를 적용한 데이터를 〈그림 1-59〉과 같이 얻을 수 있다.

〈그림 1-59〉 Changes of nozzle exit with degradation(10% loss)



Ⅲ. 결론

본 연구에서는 항공기 엔진의 실 운용데이터를 이용하여 현재의 건전성상태를 진단하고 수명을 예측하기 위한 PHM기술 적용 연구를 수행하였다. 이를 위해 공군에서 운용중인 F404 엔진의 데이터를 받아 용어파악 및 내용을 분석, PHM기술을 적용하기 위한 사전작업을 진행하였다.

PHM의 적용을 위해서는 데이터기반과 모델기반 두가지 접근법을 시도했으며, 데이터기반의 경우 공군데이터에 적용하기 전, 미국 NASA에서 CMAPSS 프로그램으로 시뮬레이션 가상의 엔진 운용데이터를 생성한 것을 이용하였고, 인공신경망 기법의 하나인 MLP 알고리즘을 적용하여 RUL예측을 수행하였다. 유사한 연구를 수행한 다른 문헌의 사례와 우리의 방법을 비교한 결과 표 11에서 보듯이 비교적 우수한 성능을 보였다.

모델기반의 경우 PHM 적용을 위해서는 해당 엔진의 해석모델이 있어야 하나 그렇지 못한 사정으로 인해 유사한 엔진해석 코드 T-MATS를 분석하였고, 실제 PHM은 엔진이 아닌 위성 자세제어용 모터에 적용하였다. 이를 위해 복합 칼만필터 프레임워크를 만들어, 온라인에서는 감쇠계수로 표현된 건전성지수의 실시간 추정을, 오프라인에서는 건전성지수의 장시간 사용에 따른 열화도의 추정 및 수명예측을 수행하였고, 그 결과 수명의 약 2/3 시점부터 정확한 예측을 수행할 수 있음을 확인하였다.

[요약]

최근 급변하는 국내외 안보환경은 우리 군의 미래에도 많은 영향을 미치게 될 것으로 예상된다. 특히 4차 산업혁명의 시대를 맞이하여 기술 선진국들은 자국의 핵심기술을 보호하기 위한 정책을 더욱 강화할 것으로 예상되고 있다. 그러므로 진정한 자주국방을 실현하기 위해서는 우리의 안보전략에 적합한 창의적인 무기체계 개발이 절실하다.

세계 2차 대전을 통해서 급격히 발전한 '체계공학(SE)'의 핵심 목적은 적보다 우위의 무기체계를 개발하는 것이다. 그리고 미국 DoD의 경우 'SE 기반의 무기체계 연구개발 절차'를 적용하여 첨단 무기체계를 개발하여왔다. 미국의 연구개발 절차를 도입하여 운영하고 있는 우리군 역시 무기체계 연구개발 절차에 SE를 적용하기 위해 많은

노력을 기울이고 있다.

그러나 무기체계 연구개발에서 SE 역할에 대한 우리군의 이해 수준은 미국과는 차이가 있다. 즉 우리군은 SE를 무기체계 수명주기 전체의 관점에서 바라보지 않고 무기체계를 개발하기 위한 과학적 도구의 하나 정도로 이해하고 있다. 이러한 잘못된 인식은 SE의 가장 큰 역할이 새로운 무기체계 개발에 필요한 '개념개발'과 개발 후 '운영유지'를 위한 것이라는 점을 간과하게 하는 결과를 초래하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 'SE 기반 무기체계 연구개발'의 진정한 의미는 무엇인지 살펴보고 우리군의 적용방안 제시하고자 한다. 또한 개발 후 운영유지 단계에서 필요한 PHM 기반의 최신 엔진수명관리 기법 연구 결과를 소개하고자 한다. 본 연구가 미래 우리군의 전력체계 구축과 운영유지 분야의 발전에 기여할 수 있기를 기대한다.

국방무기체계 사업관리 교육과정 발전방안

| 국방대학교 **마 정 목**

Ⅰ. 연구개요
Ⅱ. 무기체계 사업관리 이론
Ⅲ. 무기체계 사업관리 교육 현실태 분석
Ⅳ. 무기체계 사업관리 교육방안 제시
Ⅴ. 결론

Ⅰ. 연구개요

1. 연구배경

국방 무기체계 사업관리는 국방획득[1] 업무와 관련된 다양한 분야에서 최적의 무기체계가 도입되고 운영되도록 관리하는 것을 의미한다. 즉, 우리 군이 원하는 목적을 달성하기 위한 군사력 건설의 실체적 활동이라 볼 수 있으며, 2018년도 기준 국방예산 43.2조원에서 방위력 개선비가 31.3% (13.5조원)를 차지할 정도로 중요한 분야이다. 이와 더불어 각종 안보환경의 변화와 효율성의 강조는 국방 무기체계 사업관리 관련 종사자들의 전문성에 대한 요구를 더욱 증가시키고 있는 실정이다. 이러한 상황을 개선하기 위한 많은 방법 중에서도 그 근간이 되는 무기체계 사업관리 교육분야에 대한 연구는 아무리 강조해도 지나치지 않을 정도로 중요한 분야이다.

1) 군수품(무기체계+전력지원체계)을 구매하여 조달하거나 연구개발, 생산하여 조달하는 것 (방위사업법 제3조 정의)

특히 현 시대는 "과학기술의 시대"라 부를 정도로 과학기술에 의한 사회전반에 미치는 영향이 막대해지고 있다. 과학기술은 현대사회를 지탱하고 있으며, 이 속에서 우리는 삶을 영위하고 앞으로 사회 발전을 이루는 데 과학기술을 활용한다. 무기체계 사업관리 분야는 과학기술의 직접적인 영향을 받는 무기체계를 다룬다는 점에서 그 교육과정은 근본이 되는 방향성을 유지하는 상태에서 선도형 무기체계 개발, 무기체계의 첨단화, 고비용화, 개발의 장기화 등 과학기술의 발전에 따라 변화되는 양상을 반영할 수 있어야하는 도전에 직면해있다.

2. 연구범위 및 목표

본 연구는 국방 무기체계 사업관리 교육과정의 발전방안을 제시하는 것을 목표로 하고 있으며, 기존 연구들과 달리 정립된 이론을 바탕으로 교육과정의 근본적인 방향성을 제공하는데 중점을 둔다. 더불어 방향성 연구에 따른 개념적 접근을 방지하고자 국방 무기체계 사업관리 과정을 운영하고 있는 국방대학교 직무교육원의 사례를 바탕으로 제한적 방안 제시까지 제공하고자 한다. 구체적인 연구 범위는 다음과 같다.

1) 무기체계 사업관리의 이론 이해: 무기체계 사업관리의 이론적 배경을 규명하고, 실제 무기체계 획득과 관련한 제도 및 절차의 큰 그림을 분석하고 이해한다.

2) 현 무기체계 사업관리 교육과정 분석: 국내외 무기체계 사업관리 교육 과정들을 살펴보고, 특히 국방대학교 직무교육원의 교육과정을 분석하여 현재 진행 중인 무기체계 사업관리 교육의 현 주소를 규명한다.

3) 무기체계 사업관리 교육과정 발전방안 제시: 사업관리 이론의 이해 및 현 교육과정 분석을 바탕으로 교육과정 발전방안을 제시한다.

Ⅱ. 무기체계 사업관리 이론

1. 사업관리의 이론적 배경[2)]

역사적 관점에서 살펴보면 사업 혹은 프로젝트를 성공적으로 수행하여 목표를 달성하도록 하는 프로젝트관리는 그 본격적인 태동이 미국의 핵무기 개발 프로젝트인 맨해튼 프로젝트로 보고 있다.[3)] 제2차 세계대전이 한창이던 1939년 독일의 히틀러에 의해 원자폭탄 개발이 가시화되자 미국의 맨해튼 프로젝트가 1942년에 본격적으로 착수되게 된다. 당시 핵무기 개발이 늦어질 경우 국가의 존망이 달라질 수 있다는 위기감이 팽배한 상태였으며, 독일에 비해 훨씬 늦게 시작했지만 가능한 모든 자원을 효율적으로 사용하여 프로젝트를 성공적으로 이끌기 위한 노력을 하게 된다. 이러한 노력의 결과로 1945년 세계 최초의 원자폭탄 개발에 성공하도록 하였고, 독일이 원자폭탄을 개발하기 이전에 패망함에 따라 원자폭탄 리틀보이(little boy)가 히로시마에, 팻맨(fat man)이 나가사키에 사용되면서 2차 세계대전의 막이 내리게 된다.

이 후 냉전체제가 형성되고 미국은 당시 소련과 치열한 국방력 경쟁을 시작하게 된다. 막대한 예산이 들어가는 대규모 무기체계 개발 프로젝트들은 체계적이면서도 효율적인 프로젝트관리를 필요로 하였고, 맨해튼 프로젝트의 경험과 축척된 지식, 다양한 수행방법과 성공요인들의 이론화는 현대적 의미의 프로젝트관리의 시발점이 된다.[4)] 프로젝트관리는 당시 진행된 대규모 프로젝트들(대륙간 탄도 미사일, 전략 폭격기 등)의 수행과 함께 그 이론적 체계를 정립해나갔다.

특히, 1958년 미 해군의 잠수함 발사 탄도미사일(SLBM: Submarine Launched Ballistic Missile) 개발 프로젝트인 폴라리스(Polaris) 프로젝트와 비슷한 시기에 미국의 듀퐁(Dupont)사에 의해 각각 사업계획 평가 및 검토 기법(PERT: Program Evaluation and Review Techniques)과 주공정 기법(CPM: Critical Path Method)이 개발되면서 프로젝트관리를 알리는 대표적인 방법론들이 된다.

냉전체제하 전 세계는 우주라는 새로운 공간에 관심을 집중한다. 1961년 소련이

2) 본 장은 마정목. "프로젝트관리 기법 적용을 통한 강의품질 향상에 관한 연구" 교수논총, 2018. 내용을 요약하여 재작성 하였음.

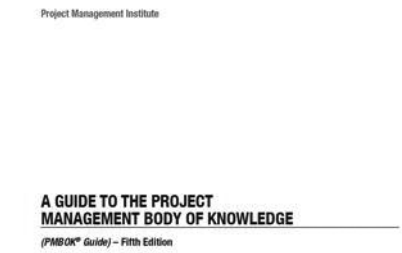
3) 오석현. "4차 산업혁명과 프로젝트관리" 국방과 기술, 465: 126-139, 2017.

4) 오석현(2017)

유인 우주 비행을 세계 최초로 성공시키면서 미국은 패권 경쟁에 대한 긴장감을 느끼게 되고, 1961년부터 1972년에 이르기까지 미국항공우주국(NASA)에 의해 우주비행 탐사 프로젝트인 아폴로(Apollo) 프로젝트를 진행시킨다. 이후 1969년 아폴로 11호에 의해 유인 달 탐사 및 지구 귀환이라는 프로젝트의 성공을 달성하게 된다. 아폴로 프로젝트 외에도 대규모 예산과 장기간의 개발 기간이 필요한 프로젝트들이 많이 진행되었으나, 미국항공우주국에 의한 아폴로 프로젝트 성공은 후일 미국항공우주국이 프로젝트관리 및 시스템엔지니어링(Systems Engineering)에 막대한 영향을 미치는 계기가 된다.

1990년대에 들어서면서 산업별, 기관별 개별적으로 발전되어오던 프로젝트관리에 대해 본격적인 지침들이 만들어진다. 1996년에는 미국에서 PMBOK[5] Guide(A Guide to the Project Management Body of Knowledge)이라는 프로젝트관리 지침이, 영국에서 PRINCE(PRojects IN Controlled Environments)라는 프로젝트 관리 지침을 발간하게 된다. 더 나아가 국제표준기구(ISO)는 2012년 9월에 프로젝트관리 국제표준규격 ISO21500 Guidance on Project Management를 제정 공표하였다.

〈그림 2-2〉 PMBOK 제5판

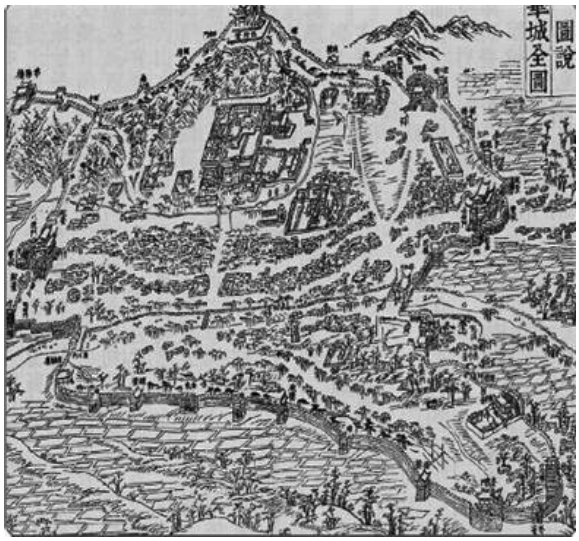


우리나라 또한 국제표준규격 ISO 21500을 바탕으로 KS A ISO21500를 제정하여 사

5) 본 연구에서는 PMBOK 5판(2013)을 기준으로 한다.

용하고 있다. 물론 그렇다고 해서 그 이전에는 프로젝트관리에 대한 개념이 완전히 없었던 것은 아니다. 그 대표적인 사례가 바로 수원의 화성(華城)이다.[6]

〈그림 2-3〉 화성성역의궤에 포함된 화성전도(출처: 김균태(2008))



화성 프로젝트는 200년 전 조선의 프로젝트관리 기법의 정수를 담고 있다고 볼 수 있으며, 화성이 1997년에 UNESCO 세계문화유산으로 선정되는데 이어, 공사계획/완료보고서인 '화성성역의궤'가 2007년 UNESCO 세계기록유산에 등재되는 쾌거를 이루었다. 화성성역의궤는 1794년(정조 18년)부터 1796년(정조 20년)까지 화성 축성과정을 기록하고 있으며, 각 건물 설계도, 기기와 연장, 작업자 이름 및 공사비용의 지출입 목록을 세세히 포함하고 있다. 의궤는 성곽을 동일하게 축성할 수 있을 정도의 정밀한 기록이 되었다는 점, 활자 인쇄방식으로 인쇄되었다는 점, 공사에 소요된 모든 물자나 정부 문서까지 담아내었다는 점, 그리고 조선시대의 문화, 과학, 건축, 예술 등의 수준을 가늠할 수 있도록 해준다는 점에서 그 중요성을 가지고 있다.[7]

6) 이지은 정석. " 역사문화환경 보전사업에 대한 프로젝트관리(PM) 적용평가 연구: 수원 화성(華城)을 대상으로" 국토연구 75: 87-103, 2012.

7) 김균태. "조선시대 화성성역의 공정관리 사례분석" 한국건축시공학회 논문집 8(6): 139-145, 2008.

〈그림 2-4〉화성성역의궤(출처: 김균태(2008))

〈표 2-2〉 화성 성역사업 개요(출처:이지은·정석(2012))

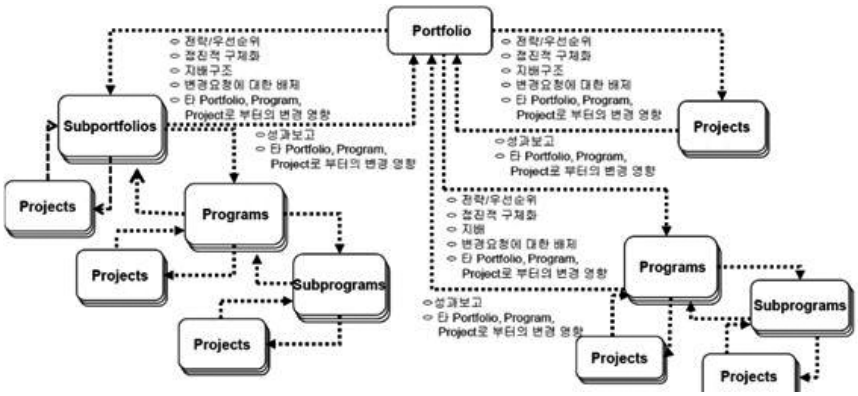
분 류	내 역
공사범위	• 화성 성역 - 면적: 1,297,060m^2 - 둘레: 5.743km - 성벽 높이: 평균4.9 6.2m • 화성행궁 - 면적:37,268m^2, 576칸 규모
기간	• 34개월 1794년(정조 18년) 1월 7일 1796년(정조20년) 10월 16일
비용	• 860만 698량 2푼 • 쌀 1,495섬 11말 4홉(급료) • 곡물 1만 3,170섬 6말 8되 1홉 8작
총괄자	정조
동원인력	• 성역소 2,188명(관리직: 219명, 장인: 1,969명) • 1,829명의 인원
장비	거중기, 유형거, 대거 등 10종 926대

특히, 의궤를 분석해보면 현대의 PMBOK과 유사한 절차들이 적용되었음을 알 수 있고, 이는 당시 명시적으로 프로젝트관리에 대한 이론을 정리하지는 않았더라도 한국의 상황에 맞는 프로젝트관리 기법들이 적용되고 있었음을 반증한다. 따라서 PMBOK의 지식영역에 해당하는 항목들에 대해 체계적으로 관리하였음을 알 수 있으며, 이를 바탕으로 당시 화성은 계획대비 일정을 단축하면서도 성공적으로 축성될 수 있었다.

이러한 역사적 관점을 배경으로 하여 계속해서 PMBOK에 기반한 프로젝트의 기본 개념들을 살펴보면 다음과 같다. PMBOK에 따르면 프로젝트는 정해진 기간 내에 유일한 제품, 서비스 또는 결과물을 생산하기 위해 수행되는 일시적인 노력으로 정의된다. 여기서 프로젝트는 시작과 끝이 명확하다는 한시적이라는 특성과 유일한 결과물을 산출한다는 특징을 가진다. 이에 반해, 현업(operation)은 지속적(on-going)이고 반복적(repetitive)인 특성을 가지고 있어 프로젝트와 구분되며, 현업의 경우 프로젝트관리의 대상으로 삼지 않는다. 따라서 현업이 아니면 규모에 상관없이 프로젝트로서 관리를 통해 일정, 비용, 품질 등에 대해 성과를 낼 수 있다.

프로젝트와 유사하게 쓰이는 용어로 프로그램(program)과 포트폴리오(portfolio)가 있으며, PMBOK에서는 아래 그림과 같이 프로젝트를 가장 하위에, 프로젝트들이 모여서 프로그램이, 그리고 프로그램과 프로젝트가 모여 포트폴리오가 된다고 정의하고 있다. 참고로 미국은 국방분야 사업을 프로그램으로 보고 있다.

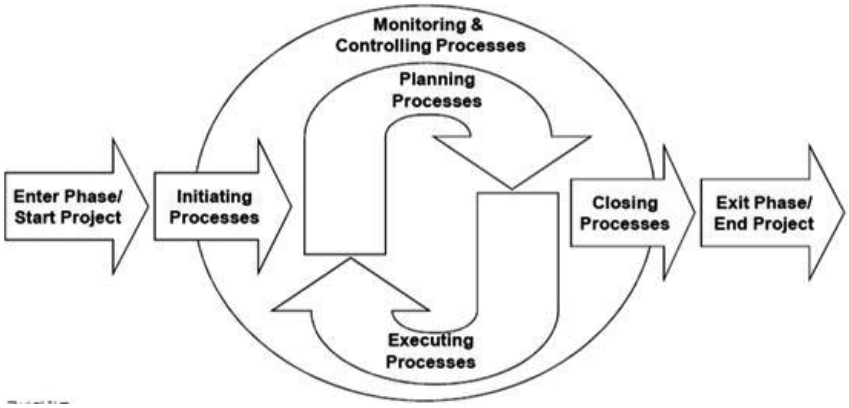
〈그림 2-5〉프로젝트, 프로그램, 포트폴리오 체계



프로젝트관리는 프로젝트 이해관계자의 요구나 기대를 충족시키기 위하여 지식, 기술, 도구 및 기법을 프로젝트에 적용하여 수행하는 제반 관리활동으로 정의된다. 프로젝트관리는 아래 그림과 같이 프로젝트 착수(initiating), 계획(planning), 실행(executing), 감시 및 통제(monitoring and controlling), 완료(closing)로 이어지는 일련의 프로세스들로 구성되어있다. 프로젝트 착수는 공식적으로 착수에 필요한 인적, 물적 자원의 확보에 중점을 둔다. 전사적 관리의 핵심인 최상위 의사결정자의 승인과 관심이 프로젝트를 성공적으로 시작시키는 관건이다. 프로젝트 계획은 프로젝트의

성공적인 실행을 위한 다양한 영역에서의 계획 문서 작성을, 프로젝트 실행은 일정, 자원 사용 등 진척 상황을 관리한다. 가장 많은 프로세스들이 정의되어 있는 것이 프로젝트 계획으로 각 프로세스들은 문서에 의한 계획 대비 실적관리를 기본으로 한다. 프로젝트 감시 및 통제는 계획 대비 실행간 변동사항을 파악하여 필요시 계획 수정을 통한 조치를 취하는 것을 말하며, 프로젝트 완료는 공식적으로 프로젝트를 완료하기 위한 행동들에 관한 것이다. 프로젝트 착수와 더불어 완료를 강조하는 이유는 단순히 프로젝트 결과물의 전달에 의한 프로젝트 종료가 아닌 수행된 프로젝트에 대한 내부 자료 정리를 포함한 체계적 종료 관리를 하기 위해서이다.

〈그림 2-6〉프로젝트관리 프로세스 그룹



아래 표는 앞서 설명한 프로젝트관리의 절차를 다섯 가지 열로 구분하면서도 10가지 지식영역이라는 행으로 나누어 세부 프로세스들을 명시하고 있다. 10가지 지식영역은 통합(integration), 범위(scope), 일정(time), 비용(cost), 품질(quality), 인적자원(human resource), 의사소통(communication), 리스크(risk), 조달(procurement), 이해관계자(stakeholder)로 구분되는데, 해당 지식영역은 프로세스 그룹과 함께 세부 프로세스를 가질 수 있다. 예를 들면, 프로세스 착수 단계에서 통합에 해당하는 프로세스는 프로젝트 헌장 개발(develop project charter)이 있다.

세부 프로세스들을 포함한 지식영역은 PMBOK이 개정될 때 마다 변화해 오고 있으므로, 반드시 고정되어 있는 것으로 보기 힘들며, 개정에 따라 기존 지식영역이 없어지거나 새로운 지식영역이 추가될 수 있음을 인지하여야 한다. 더불어 PMBOK 자

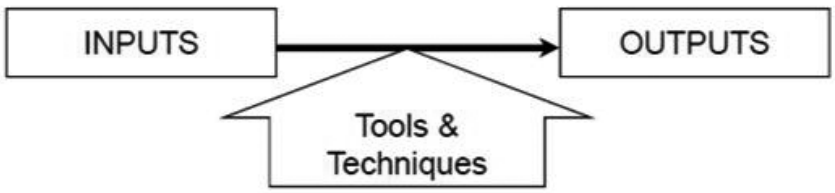
체가 각종 산업, 연구, 국방 등 다양한 분야에서 적용될 수 있도록 통합되고 일반화되면서 발전해오고 있으므로, 각 분야에 맞도록 프로세스들을 적용하는(tailoring) 것이 필요하다.

〈그림 2-7〉PMBOK 구성

Processes / Knowledge Area	Project Management Process Groups				
	Initiating PG (2)	Planning PG (24)	Executing PG (8)	Monitoring & Controlling PG (11)	Closing PG (2)
4. Project Integration Management	Develop Project Charter (4.1)	Develop Project Management Plan (4.2)	Direct and Manage Project Work (4.3)	Monitor and Control Project Work 4.4) Perform Integrated Change Control (4.5)	Close Project or Phase (4.6)
5. Project Scope Management		Plan Scope Management(5.1) Collect Requirements (5.2) Define Scope (5.3) Create WBS (5.4)		Validate Scope (5.5) Control Scope (5.6)	
6. Project Time Management		Plan Schedule Management((6.1) Define Activities (6.2) Sequence Activities (6.3) Estimate Activity Resources (6.4) Estimate Activity Durations (6.5) Develop Schedule (6.6)		Control Schedule (6.7)	
7. Project Cost Management		Plan Cost Management(7.1) Estimate Cost (7.2) Determine Budget (7.3)		Control Cost (7.4)	
8. Project Quality Management		Plan Quality Management (8.1)	Perform Quality Assurance (8.2)	Control Quality (8.3)	
9. Project Human Resource Management		Plan Human Resource Management (9.1)	Acquire Project Team (9.2) Develop Project Team (9.3) Manage Project Team (9.4)		
10. Project Communication Management		Plan Communications (10.1)	Manage Communications (10.2)	Control Communications(10.3)	
11. Project Risk Management		Plan Risk Management(11.1) Identify Risks (11.2) Perform Qualitative Risk Analysis (11.3) Perform Quantitative Risk Analysis (11.4) Plan Risk Responses (11.5)		Control Risks (11.6)	
12. Project Procurement Management		Plan Procurement Management (12.1)	Conduct Procurements (12.2)	Control Procurements (12.3)	Close Procurements (12.4)
13. Project Stakeholder Management	Identify Stakeholders (13.1)	Plan Stakeholder Management (13.2)	Manage Stakeholder Engagement(13.3)	Control Stakeholder Engagement(13.4)	

PMBOK에서 각 프로세스는 아래와 같은 형태로 표시된다. 즉, 입력물과 결과물을 명시하고 입력물을 바탕으로 도구 및 기법을 소개하여 결과물이 산출되도록 하고 있다. 즉, PMBOK의 프로세스들은 서로 입출력의 형태로 연결되어 있는데, 필요한 프로세스들을 연결하면 프로젝트관리가 이루어지며, 프로젝트 수행 간 중요한 요소들이 빠짐없이 검토되도록 도와줄 수 있다.

〈그림 2-8〉프로세스 구성



10가지 지식영역에 대해 살펴보면 다음과 같다. 우선 통합(integration)은 프로젝트관리 프로세스 내에서 다양한 프로세스 및 관리활동들을 적절히 식별, 정의, 조합, 통합하여 조정하는 필요한 프로세스와 제반 활동으로 정의된다. 통합영역에서는 프로젝트 채택을 공식적으로 승인하는 문서인 프로젝트 헌장(charter)을 개발하고, 다른 지식영역의 계획서들을 총괄하는 프로젝트관리 계획(PMP: project management plan)의 작성 프로세스를 포함한다.

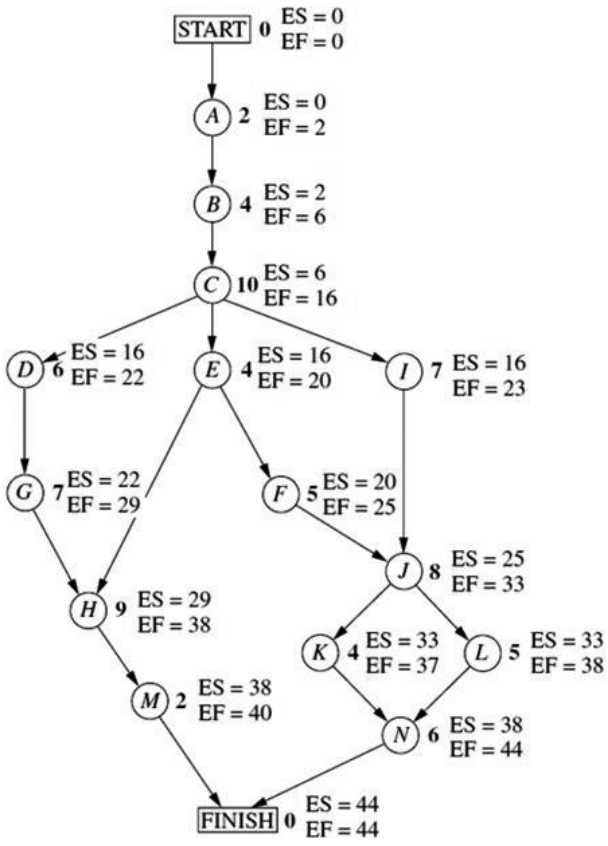
범위(scope)는 프로젝트를 완성하기 위해 필요한 모든 작업을 파악하고 반드시 필요한 작업들만 포함되도록 하는 영역으로, 범위관리 계획을 포함하여, 요구사항 수집, 범위 정의, 작업분류체계(WBS: Work Breakdown Structure) 작성, 범위 유효성 확인, 범위 통제 프로세스를 포함한다. 특히, 작업분류체계는 작업 지연을 방지하고, 프로젝트 팀원의 업무 이해도를 높이며, 빈번한 변경을 방지, 자원 사용의 근거가 되는 등 프로젝트 성공을 위한 매우 중요한 도구이다.

〈표 2-3〉 작업분류체계의 예시

WBS1	WBS2	코드	Work Package
계획(10)	공통		Project Chart
			기본계획서
			일정계획서
			예산계획서
	인력		인력계획서
분석(20)	매장		시장조사(입지)
	Brand		시장조사(고객)
			선호도 조사(메뉴)
계약(30)	매장		매장 조사 및 준비
			매장 체결
	Brand		메뉴 조사 및 준비
			계약 체결
	홍보물		홍보 조사 및 준비
			홍보 계약 체결
	인력		인력 준비
			인력 계약
공사(20)	매장		설계
			구조물공사
			설비설치
홍보 및 영업(20)	홍보물		홍보전략
			전단지
			Open Event
	인력		교육

일정(time)은 프로젝트를 적기에 완료되도록 하는데 필요한 여러 프로세스들로 구성되는데, 일정관리 계획 작성, 활동정의, 활동순서 배열, 활동자원 산정, 활동기간 산정, 일정개발의 프로세스가 그 예이다. 대표적인 도구로 PERT(program evaluation and review technique)/CPM(critical path method)이 있다. PERT/CPM은 아래 그림처럼 각 활동들의 선후행 관계로부터 체계적으로 주공정을 찾도록 도와줌과 동시에 각 활동들의 일정 관리를 위한 추가 정보를 제공해 줄 수 있다. 더불어 삼점추정 방식(PERT three-estimate approach)을 통해 불확실한 정보하에서도 프로젝트의 일정 달성을 위한 확률을 계산하여 일정을 관리하도록 도와줄 수 있다.

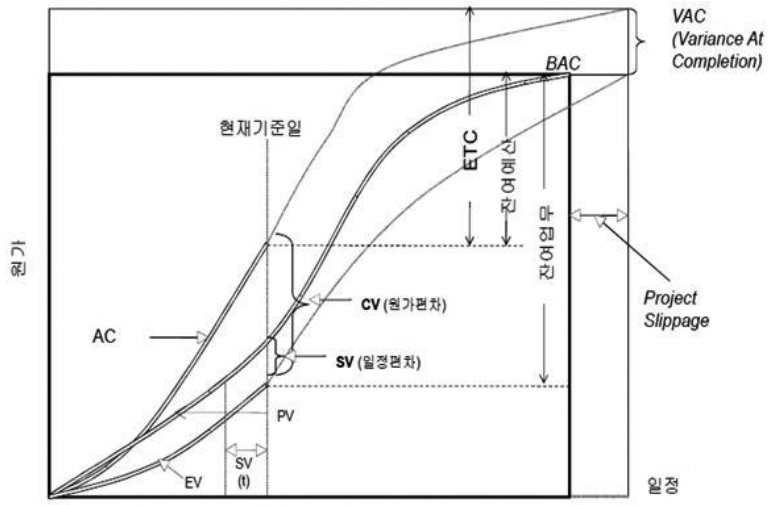
〈그림 2-9〉 PERT/CPM 예



비용(cost)은 프로젝트를 승인된 예산 범위 내에서 완료하도록 원가를 산정하고, 예산을 결정하며, 원가를 통제하는 프로세스들을 포함한다. 비용과 일정을 동시 달성

할 수 있도록 도와주는 도구로 EVMS(Earn Value Management System, 사업성과관리)가 있으며, EVMS는 "사업의 비용, 일정 목표를 달성하기 위한 계획을 수립한 후, 실제 성과(EV)를 측정하여 설정된 기준과 비교분석 함으로써 문제시 필요한 조치를 취할 수 있도록 지원하는 사업관리 기법"[8]으로 정의된다. EVMS는 성과(earned value)를 바탕으로 다양한 지표들을 체계적으로 관리하여 비용, 일정에 대한 의사결정을 지원할 수 있다.

〈그림 2-10〉 EVMS 개념도

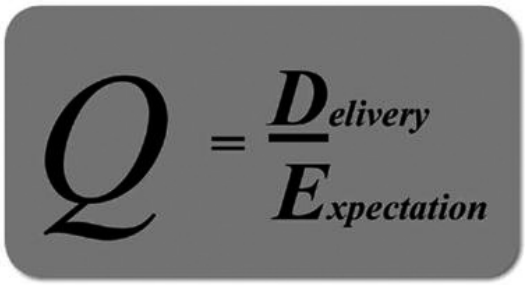


품질(quality)은 명세서를 만족하거나 요구되는 용도에 적합하도록 하는 것으로, 아래 상징적인 그림처럼 요구자의 요구사항 대비 요구사항의 전달 정도로 정의되며, 멋을 내기위해 추가적으로 수행하는 활동이나 결과물은 품질과 무관하다고 보고 있다. 품질은 국방영역에서 작전운용성능(ROC: Required Operational Capability)이라는 지표로 매우 중요하게 관리되고 있는 것처럼, 거의 모든 분야에서 필수적으로 관리되어야 할 대상이다. 품질관리를 위한 많은 경영 기법들이 등장했지만, 핵심이 되는 품질관리의 본질은 먼저 최상위 의사결정자의 프로젝트 품질관리에 대한 이해도 및 참여가 중요하다는 점과 품질을 검사의 개념이 아닌 계획과 관리의 대상으로 삼아야 한다는 점이다. 이에 따라 품질원가(COQ: Cost of Quality)라는 개념이 나타났으며, 비용과 연계지어 품질을 관리함으로써 최상의 의사결정자의 참여를 유도할 수 있고,

8) 방사청 과학적사업관리 수행 지침(방사청 예규 제257호)

계획을 통한 품질관리의 중요성을 인식하게 된다.

〈그림 2-11〉 품질의 정의



리스크(risk)는 프로젝트 목표 달성에 긍정적 또는 부정적 영향을 줄 수 있는 불확실한 사건으로 이를 파악하고 측정하여, 계획 하 관리하는 것이 리스크 관리이다. 위험이라는 용어 대신 리스크라는 용어를 사용한 이유는 위험이라는 용어가 부정적 영향만을 인식시키는 경향이 있기 때문으로, 리스크는 긍정적으로 작용할 수 도 있다는 것을 이해하는 것이 중요하다. 즉, 부정적 영향을 줄이는 것도 중요하지만, 긍정적 영향을 극대화시키는 것도 중요하다. 리스크 관리 영역에는 리스크관리 계획수립, 리스크 식별, 정성적 및 정량적 리스크 분석 수행, 리스크 대응 계획수립, 리스크 통제의 프로세스들을 포함한다. 아래 그림은 정량적 리스크 분석의 예를 보여준다. EMV는 expected monetary value로 품질원가와 비슷한 의미로 볼 수 있다. 즉, 위험을 비용 기반으로 정량화하여 우선순위 및 대응전략을 세울 수 있다.

〈표 2-4〉 정량적 리스크 분석의 예

WBS ID	리스크 항목	발생 확률	일정 영향	비용영향	EMV (확률 * 비용 영향)	우선 순위	대응 전략
1.4.1	요구사항 수시변동	80%	4주	4,000만원	3,200만원	1	제거
3.5.1	타 체계 연동시 문제점 발생	80%	2주	2,000만원	1,600만원	2	완화
4.6.1	기능 및 성능 미 충족	40%	3주	3,000만원	1,200만원	3	완화
1.4.3	신기술의 확보제한	20%	1주	1,000만원	200만원	4	수용

인적자원(human resource)은 프로젝트를 완료하기 위한 역할과 책임을 가진 프로젝트 팀을 구성하고 관리하는 것을 말한다. 인적자원관리 계획수립, 프로젝트 팀 확보, 프로젝트 팀 개발, 프로젝트 팀 관리의 프로세스로 구성되며, 팀 개발 5단계 이론 등 조직관리 이론을 바탕으로 한다.

의사소통(communications)은 프로젝트의 성공적 수행을 위한 의사소통을 관리하는 것으로 의사소통관리 계획수립, 의사소통 관리, 의사소통 통제의 프로세스로 구성된다. PMBOK에서는 의사소통 모델을 바탕으로 비언어적 표현의 중요성, 적극적 청취, 효과적 청취, 피드백, 회의 진행 등을 제시하고 있다.

조달(procurement)은 프로젝트 팀이 외부로부터 필요한 제품, 서비스, 결과를 구매나 획득하는데 필요한 과정으로, 조직은 프로젝트의 제품, 서비스, 결과물의 구매자이면서 동시에 판매자로서의 역할을 한다. 조달 관리 영역에서는 계약의 종류와 특징에 대한 이해, 조달 문서, 공급자 선정 기준 등을 제시하고 있다.

이해관계자(stakeholder)는 프로젝트에 영향을 주는 조직이나 모든 사람들을 초기부터 식별하고, 그들의 관심사와 영향 등을 분석하여, 지속적으로 관리 및 참여를 시키는 것을 말한다. 품질의 정의에서도 알 수 있듯이 결국 요구자의 요구사항을 반영하기 위해서는 이해관계자들을 식별하여 참여시키는 것이 결국 프로젝트를 성공으로 이끌어가는 길이라 볼 수 있다. 이해관계자 식별, 이해관계자관리 계획, 이해관계자 참여관리, 이해관계자 참여통제의 프로세스를 포함하고 있다.

2. 무기체계 획득 제도 및 절차

우리나라는 한국전쟁 이후 미국의 군사원조(MAP: Military Assistance Program)에 의존하다 1970년대 초 미군 철수가 가시화되자 자주국방을 위한 군사력 확보의 필요성이 제기되게 된다. 1974년부터 최초의 국방획득사업인 1차 율곡사업을 기점으로 전력증강사업, 전력정비사업, 방위력개선사업, 획득사업, 전력투자사업 그리고 현재의 방위사업으로 시대적 상황에 부합하도록 명칭이 변경되어 왔으며, 국방획득관리 제도의 변화와 함께 관련 조직 및 의사결정기구도 아래 표와 같이 변경되면서 국방획득사업이 추진되었다. 이 과정에서 1972년부터 소요기획제도, 국방획득관리제도가 도입되고, 1979년에는 현 국방기획관리제도(PPBEES: Plan Program Budget Execution Evaluation System)의 모체가 되는 미국의 PPBS(Plan Program Budget System)제도

가 최초로 도입된다.

특히, 방위사업청 개청 이전에는 국방획득 관련 조직이 국방부 본부, 합참, 육 해공군 사업단, 조달본부, 국방과학연구소, 국방품질관리소 등으로 분산되어 운영되어 오다가 2006년 1월에 획득정책, 계획, 예산, 사업관리, 계약관리, 규격 목록, 분석평가, 품질보증, 기술관리의 9개 분야를 통합하여 방위사업청이 출범하게 된다.[9)]

〈표 2-5〉 방위사업청 개청 연혁(출처:국회입법조사처(2015))

연 도	일 자	주요 사항
2004	3. 5	◦ 국무총리 산하에 국방획득제도개선위원회 발족
	8. 18	◦ 제3차 국방획득제도개선위원회에서 '외청' 신설 결정
	1. 19	◦ 국방획득제도개선(안) 대통령 보고, 명칭(방위사업청) 및 시기('06.1.1) 확정
2005	7. 22	◦ 정부조직법(법률 제7613호) 개정, 국방부장관 소속으로 방위사업청 설치
	8. 1	◦ 국방획득제도 개선 및 방위사업청 개청준비단 발족
	12. 28	◦ 방위사업청과 그 소속기관 직제(대통령령 제19200호) 제정
	12. 30	◦ 한국형헬기개발사업단 규정(대통령령 제19221호) 개정 - 방위사업청장 소속하에 한국형헬기개발사업단을 둠
	12. 31	◦ 방위사업법(법률 제7845호) 제정
2006	1. 1	◦ 방위사업청 개청 - 국방획득 관련 조직을 8개 기관에서 방위사업청, 국방과학연구소, 국방기술품질원으로 통폐합

〈표 2-6〉국방획득관리제도의 변화(출처:방위사업청(2008))

구 분	제 도 변 천	관 련 조직	의사결정기구
'72년	·최초 획득관리제도 제정	·국방부 : 방위산업관 ※ 국방과학연구소 창설	·병기개발과제선정위원회 ·병기개발기술위원회
'74년 ~'78년	·율곡사업 착수 -연구개발절차 마련 -무기체계채택절차 마련	·국방부 : 방위산업국	·국방과학기술심의회
'79년 ~'82년	·미 PPBS제도 도입 -무기체계선정절차 마련	·국방부 -투자사업조정관 -방위산업 1, 2, 3국	·전력증강위원회(5인, 10인)[20)] ·개발심의회 * 합참 : 무기체계 심의회
'83년 ~'90년	·미 PPBEES제도 도입 -해외구매절차 제도화 -획득 전단계 품질보증	·국방부 -계획평가관(전력계획관) -투자사업조정관, 평가분석관 -방위산업국	·전력증강사업추진위원회 ·획득심의회 * 합참 : 무기체계 심의회

9)) 국회입법조사처. "국방획득체계 현황 및 개선방향" NARS 현안보고서 제288호, 2015.

'91년 ~'96년	·818 군구조 개편 –함참 소요제기기능 수행 –각군 소요제기 환원('95)	·국방부 –전력계획관 –사업조정관, 평가분석관 –획득개발국	·확대/전력정비사업추진위원회 ·획득심의회 * 합참 : 무기체계 심의회('96)
'97년 ~'99년	·문민정부 제도개선 –획득절차 단축 * 무기체계선정,채택삭제 –제안요청서(RFP)에 의한 기종결정	·국방부 –방위사업실장 –전력계획관 –사업조정관, 획득개발국	·확대/방위력개선사업추진위원회 ·확대/획득 협의회('96) * 합참 : 무기체계 협의회 폐지 (무기체계 선정/채택 절차 생략)
'99년 ~'02년	·국민정부 제도개선 –17개 규정 통·폐합 –결재처리방식 의사결정 * 사업별 책임제도 도입	·국방부 –획득실장 –획득정책관, 연구개발관 –군수관리관, 분석평가관	·결재처리 방식 – 필요시 국방투자사업 추진위원회('99) – 필요시 확대/획득회의('02)
'03년 ~'05년	·참여정부 제도개선 –개방형 회의체 의사결정		·전력투자사업심의위원회('03) ·획득개발심의회('03)
'06년~	·국방획득 제도개선 –효율성, 전문성, 투명성 및 경쟁력 확보 –개방형 회의체 의사결정 ·전문화계열화제도 폐지('08년말)	·방위사업청	·방위사업추진위원회 –분과위원회(3개)

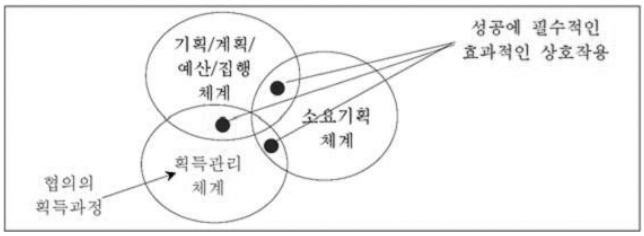
방위사업청은 분산된 획득 관련 조직들에 비해 투명성, 효율성, 전문성, 경쟁력 강화를 주요 목표로 설립되었으며, 현재까지 국방획득의 주요 축으로 임무를 수행하고 있다. 현재 개청 이후 재평가에 따라 일부 기능은 분리되어 국방획득 집행단계의 독립성을 보장하고 있다. 이와 함께 제정된 방위사업법과 동법 시행령 및 시행규칙에 의해 현재의 국방획득 업무가 이루어지고 있다. 이후 2014년 5월에 개정된 방위사업법에 의한 주요 기능별 변화는 다음과 같다. 우선 소요결정의 주체가 합참으로 바뀌었고, 계획과 평가 단계에서 중기계획 작성 및 시험평가 기능이 국방부로 이관되었다.

〈표 2-7〉 2014년 방위사업법 개정 이후 변화(출처:국회입법조사처(2015))

구 분	법 개정 전	법 개정 이후
기획단계 (Planning)	- 소요요청(각군) ⇨ 소요제기(합참) ⇨ 소요결정(국방부)	- 소요제기: 각군 ⇨ 소요결정: 합참
계획단계 (Programming)	- 방위사업청장 작성(중기계획) ⇨ 실무 협의 ⇨ 실무위·분과위 심의 ⇨ 방위사업추진위원회 심의 ⇨ 군무회의 ⇨ 장관 결재 ⇨ 대통령 재가 * 소요군: 전력화 지원요소 제출	- 중기계획 작성: 국방부
예산단계 (Budgeting)	- 방위사업청 작성 ⇨ 실무협의 ⇨ 실무위·분과위 심의 ⇨ 방위사업추진 위원회 심의, 장관 결재 ⇨ 기획재정부 심의 ⇨ 국회 의결 * 소요군: 전력화 지원요소 제출	변화 없음
집행단계 (Execution)	- 방위사업청에서 통합사업관리	변화 없음
평가단계 (Evaluation)	- 분석평가 계획/예산/집행 단계 비용분석(국방부, 방위사업청) 전력화 평가/전력 운용 분석(각군, 합참) - 시험평가: 방위사업청 통제 소요군 평가/결과 제출 ⇨ 방위사업청 판정	- 시험평가: 국방부

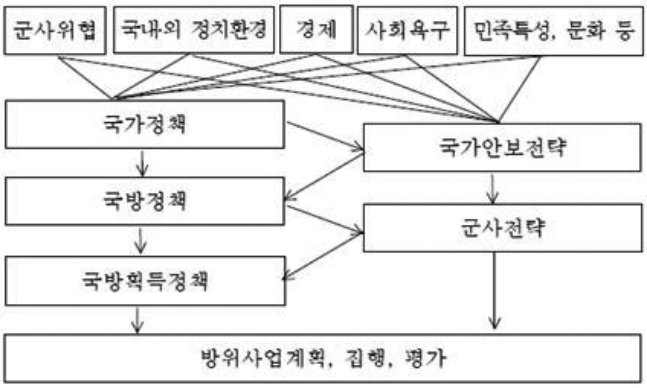
국방 무기체계 사업관리 교육과정의 이해를 위해 획득업무를 구분하면 아래 그림처럼 소요기획체계, 기획/계획/예산/집행체계, 획득관리체계로 나누어 볼 수 있으며, 이들 체계는 각각 방위사업의 성패요소인 성능, 비용, 일정과 연관된다. 획득이라는 용어는 광의의 개념으로 세 가지 체계 전부를 말하기도 하고, 협의의 의미로 획득관리체계 만을 의미하기도 한다.

〈그림 2-12〉 획득업무의 분류(출처:방위사업청(2008))



이러한 획득업무를 국방기획관리제도를 기준으로 나타내면 기획체계, 계획체계, 예산체계, 집행체계, 분석평가체계로 나타낼 수 있다. 우선 기획(planning)체계는 "예상되는 위협을 분석하여 국방목표를 설정하고 국방정책과 군사전략을 수립하며, 군사력 소요를 제기하고 적정수준의 군사력을 건설·유지하기 위한 제반정책을 수립하는 과정"[10]을 말한다. 따라서 기획체계는 아래 그림과 같이 군사위협을 포함한 국내외의 정치환경, 경제, 문화 등의 영향을 바탕으로 작성되는 상위문서인 국가정책과 국가안보전략에 대한 이해를 필수로 하며 위계질서를 가진다. 기획체계에 해당하는 문서로는 국방정보판단서(DIE : Defense Intelligence Estimates), 국방기본정책서(NDP : National Defense Policy), 국방개혁기본계획(DR : Defense Reform), 합동군사전략서(JMS : Joint Military Strategy), 국방기획지침(DPG : Defense Planning Guidance), 합동군사전략목표기획서(JSOP : Joint Strategy Objective Plan), 합동군사전략능력기획서(JSCP : Joint Strategy Capability Plan)가 있다.

〈그림 2-13〉 기획체계의 위계질서(출처:방위사업청(2008))



10) 국방기획관리기본훈령 제4조

계획(programming)체계는 "기획체계에서 설정된 국방목표를 달성하기 위하여 수립된 중·장기 정책을 실현하기 위해 소요재원 및 획득 가능한 재원을 예측·판단하고 연도별, 사업별로 추진계획을 구체적으로 수립해 가는 과정"[11]을 말한다. 계획체계는 기획과 예산체계를 연결 짓는 핵심적인 역할을 하며 예산 기준년도 이후 5년간을 대상으로 계획하는 국방중기계획서가 대표적인 문서이다.

예산편성(budgeting)체계는 "회계연도에 소요되는 재원(예산)의 사용을 국회로부터 승인받기 위한 절차로서 체계적이며 객관적인 검토·조정과정을 통하여 국방중기계획서의 기준연도 사업과 예산소요를 구체화하는 과정"[12]을 말한다. 예산편성체계는 국방중기계획에서 전환된 기준연도 사업을 정부의 예산편성지침에 따라 방위력개선비와 전력운영비로 구분하여 국회에 예산서를 제출하고 승인받는 과정이다.

집행(execution)체계는 "예산편성 후 계획된 사업목표를 최소의 자원으로 달성하기 위하여 제반조치를 시행하는 과정"[13]을 말한다. 즉, 국회의 승인을 받은 예산을 집행하기 위하여 예산을 배정하고, 예산의 사용을 보고하며, 잔액을 다음해로 넘기는 예산이월 및 집행한 예산의 결산으로 이루어진다.

마지막으로 분석평가(evaluation)체계는 "최초 기획단계로부터 집행 및 운용에 이르기까지 전 단계에 걸쳐 각종 의사결정을 지원하기 위하여 실시하는 분석지원 과정"[14]을 말한다. 즉, 전 단계는 소요기획단계, 획득단계, 운영유지단계로 나누어 의사결정에 필요한 분석을 진행한다.

PMBOK을 기초로 한 프로젝트관리에서도 문서체계에 의한 프로세스 연결을 강조하고 있는 것처럼 국방기획관리제도는 문서의 흐름에 의해 진행되며, 다시 한 번 각 단계별 문서를 정리하면 다음과 같다.

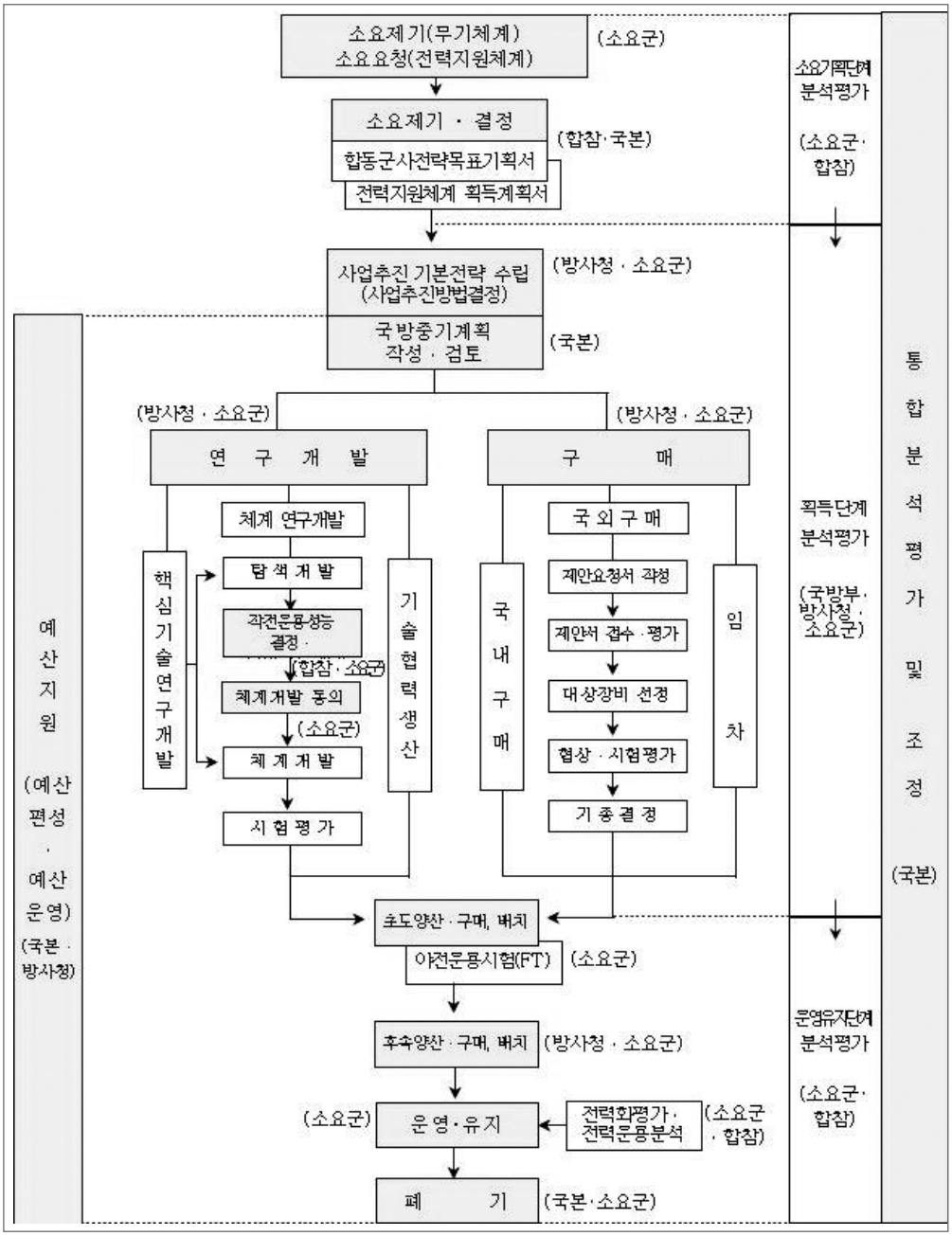
11) 국방기획관리기본훈령 제4조
12) 국방기획관리기본훈령 제4조
13) 국방기획관리기본훈령 제4조
14) 국방기획관리기본훈령 제4조

〈표 2-8〉 국방기획관리를 위한 문서의 종류

번 호	문 서 명	비 고
1	국방정보판단서	기획문서
2	국방기본정책서	
3	국방개혁기본계획	
4	합동군사전략서	
5	국방기획지침	
6	합동군사전략목표기획서	
7	합동군사전략능력기획서	
8	국방중기계획서	계획문서
9	5년단위 국방개혁추진계획	
10	전력운영사업 예산요구서	예산문서
11	방위력개선사업 예산요구서	
12	국방부 예산서	
13	방위사업청 예산서	
14	국방예산배정계획서	집행문서
15	세입·세출 및 기금 결산보고서	
16	방위력개선사업 예산배정계획서	
17	방위력개선사업 세출·입예산결산보고서	
18	연간 전력운영사업 분석평가서	분석평가문서
19	연간 방위력개선사업 분석평가서	
20	연간 방위력개선사업 분석평가서(획득단계)	

보다 더 구체적으로 획득업무가 진행되는 절차는 아래 그림과 같다. 절차는 위에서 설명한 국방기획관리제도의 다섯 가지 체계에 따라 분류되며, 첫째 소요기획단계에서는 무엇이 필요한지를 결정하는 소요제기(무기체계) / 소요요청(전력지원체계) 및 결정을 통해 합동군사전략목표기획서 및 전력지원체계획득 기획서가 만들어진다. 소요를 어떻게 획득할지 선행연구를 통해 사업추진기본전략을 수립하고 이를 바탕으로 중기계획을 작성 및 검토한다. 획득을 위한 방법은 연구개발과 구매로 구분되며, 연구개발은 다시 핵심기술연구개발, 체계연구개발, 기술협력생산으로, 구매는 국내구매, 국외구매, 임차로 나누어진다. 양산 및 구매를 통한 배치를 위해서는 시험평가과정을 통해 소요군이 요구한 작전운용성능의 충족여부에 대한 평가를 거친다. 이후 전력화된 무기체계는 운영 및 유지단계를 거쳐 폐기된다.

〈그림 2-14〉국방전력발전업무 절차도(출처:국방전력발전업무훈령 별표5)



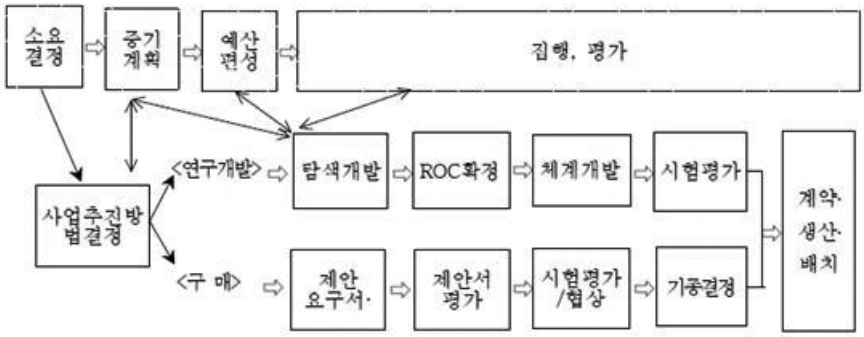
아래의 표는 기획관리체계, 소요기획체계, 획득관리체계를 단계와 활동, 제도/규정, 주요문서로 구분한 것으로, 기획관리체계가 자원 획득 및 할당의 관점에서, 소요기획체계는 소요결정의 관점에서, 획득관리체계는 사업관리의 관점에서 이해할 수 있음을 보여준다.

〈표 2-9〉 획득체계의 정리(출처:방위사업청(2008))

구분	기획관리체계	소요기획체계	획득관리체계
단계	•기획 •계획 •예산 •집행/평가	•소요요청 •소요제기 •소요결정 •전력분석	•예산획득 •획득(선행연구 등)
활동	•국방정책과 군사전략 수립 •군사력건설 소요결정 •부대/사업단위 자원배분 •5개년 중기계획 수립 •예산편성 •예산의 효율적 집행기준 제공 •사업추진 분석평가 등	•각군/기관 소요요청 •중장기 전력소요제기 •합참 사전분석 •관련기관 검토 •전력소요 결정 등	•사업추진전략 •개발계획 등 개발전략 •개발방법론/절차 •상호운용성 확보/절차 •형상관리 •시험평가 •감리, 정보보호 등
제도/규정	•국방기획관리기본규정	•국방전력발전업무규정 •방위사업관리규정	•방위사업관리규정
주요문서	•국방정보판단서 •국방기본정책서 •합동군사전략서 •합동군사전략목표기획서 •국방과학기술진흥정책서 •합동군사전략능력기획서 •국방중기계획서 •예산각목명세서 등	•기획관리체계의 주요문서 지원 * 합동군사전략서, 합동군사전략목표기획서, 합동군사전략능력기획서 등	•사업추진기본전략서 •시험평가기본계획서 •탐색개발기본계획서/탐색개발실행계획서/탐색개발관리계획서 •체계색개발기본계획서/체계개발실행계획서/체계개발관리계획서 등
관점	자원 획득 및 할당	소요결정	사업관리

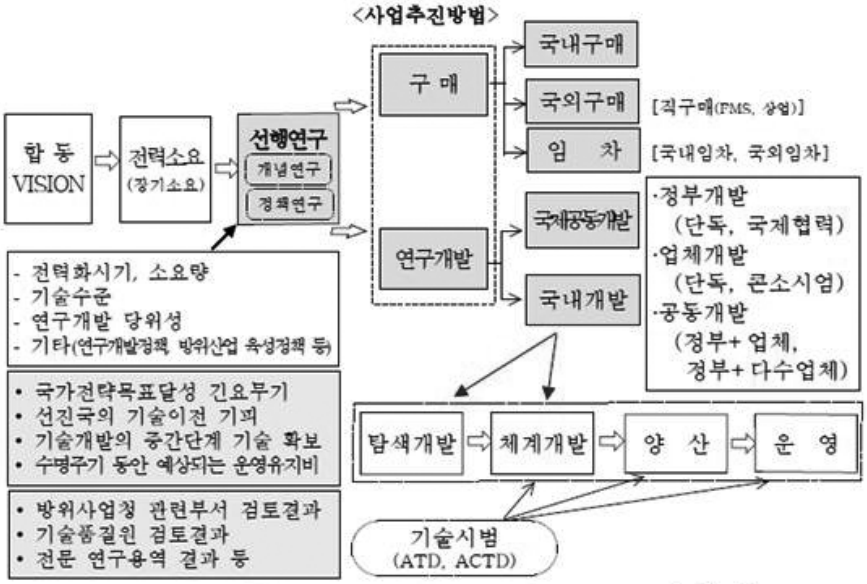
앞서 설명한 국방기획관리체계와 획득관리체계의 연관관계를 살펴보면 아래 그림과 같이 나타낼 수 있다. 예산을 중심으로 한 문서체계가 진행되는 가운데 획득관리체계는 선행연구를 통하여 연구개발 혹은 구매를 집행단계에 진행하여 필요한 무기체계의 전력화를 추진한다.

〈그림 2-15〉 기획관리체계와 획득체계의 관계(출처:방위사업청(2008))



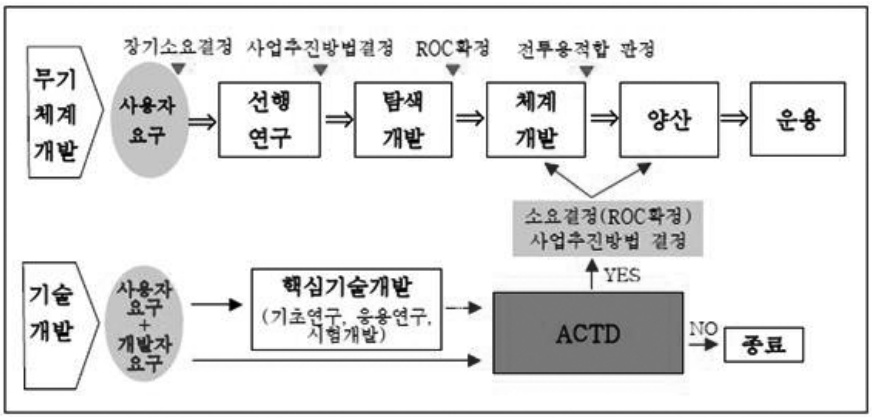
이를 사업추진방법으로 구분하여 연결 지으면 아래 그림과 같이 나타낼 수 있다. 국방 여건상 국내연구개발을 중심으로 획득 사업이 진행되거나 기술 성숙도가 부족한 경우 국외구매를 추진하는 형태로 이루어지고 있다.

〈그림 2-16〉사업추진방법 구분개념도(출처:방위사업청(2008))



무기체계 연구개발의 관점에서 획득사업이 이루어지는 모습은 다음과 같다. 장기소요로부터 사용자 요구가 파악되면 선행연구를 통해 사업추진방법을 결정하고, 탐색개발을 통한 ROC확정 후 체계개발시 전투용적합 판정이 나면 양산 및 운용이 이루어진다. 기술개발은 개발자에 의한 요구를 함께 포함하여 핵심기술개발을 하거나 민간의 검증된 기술을 기술시범사업을 통해 무기체계개발의 과정에 포함시키는 절차로 이루어진다.

〈그림 2-17〉무기체계 개발 및 기술개발 절차(출처:방위사업청(2008))



Ⅲ. 무기체계 사업관리 교육 현실태 분석

1. 국내외 무기체계 사업관리 관련 교육

무기체계 사업관리는 앞서 살펴본 것처럼 국가 운영을 위한 정책과 전략에 영향을 받는 하위 정책과 전략의 일부분으로 수행되면서도 PMBOK에 기반한 지식영역이 거의 전 분야를 포함하고 있다는 사실에서 알 수 있듯이 상당히 포괄적인 학문영역을 요구한다. 아래 표는 무기체계 사업관리 관련 분야별 다루는 업무를 바탕으로 연관되는 학문영역을 보여주고 있는데, 행정학, 경영학, 정책학, 경제학, 국제관계학, 군사학, 공학 등 거의 전 학문이 포함된다는 것을 알 수 있다.

〈표 2-10〉 획득체계의 정리(출처:방위사업청(2008))

분야	다루는 업무	학문영역
국가예산	중기계획 수립, 예산편성, 예산집행 및 결산 등	행정학(재무행정론, 기획론, 정책결정론 등), 경영학(회계원리, 재무회계, 재무관리 등), 정책학, 경제학 등
국방정책	안보환경 분석, 정책수립 등	행정학(행정계량분석, 정책결정론 등), 경제학(경제정책론, 경영학원론 등), 정책학, 국제관계학 등
군사전략	군사분쟁의 본질 이해, 대응방안 수립 등	군사학, 행정학(기획론, 책결정론 등), 국제관계학 등
국방과학	기술수준조사, 무기체계 개발 및 관리 등	공학, 경영학(원가회계, 경영정보, 의사결정론 등), 행정학(행정계량분석 등) 등
인원/조직	인원 및 조직 관리 등	행정학(행정조직론, 행정관리론 등), 경영학(경영학원론, 인간관계론 등)
사업관리	비용·일정·무기성능관리, 계약관리, 위험관리, 이해관계자 관리 등	공학, 행정학, 경영학, 경제학 등

우선 국내 무기체계 사업관리 교육 관련 기관들을 살펴보면 아래 그림과 같다. 다음 장에서 살펴볼 국방대학교 직무교육원외에도 방위사업청의 교육센터, 국방과학연구소 기술아카데미, 국방기술품질원 인재개발실이 있으며 군사교육기관으로는 합동군사대학, 종합군수학교가 있고, 그 외 일반 민간대학교(광운대, 건국대와 같은 방위사업학과) 과정과 방산업체 근무자를 대상으로 하는 한국방위산업진흥회 교육 프로그램이 있다.

〈그림 2-18〉무기체계 사업관리 관련 국내 교육기관

방사청의 방위사업전문교육은 직원을 대상으로 직무수행에 필요한 전문지식과 직무능력 향상을 위한 교육을 실시하고 있으며, 교육과정의 편성은 아래 그림과 같이 기본과정, 전문과정, 자격과정 및 사이버교육 과정으로 구분된다.[15)]

〈그림 2-19〉 방사처 전문교육과정 편성(출처: SMI(2016))

아래 표는 전문과정에서 진행하는 교육 프로그램의 과목 편성을 보여주며, 정책, 사업, 계약 및 공통과정이라는 구분하에 방위사업 관련 과목들을 구성되어 있다.

15)) SMI. “국방획득 전문교육기관 설립방안 연구” 2016.

〈표 2-11〉 방사청 전문과정 과정별 과목 편성(출처: SMI(2016))

공통과정(3)	정책(10)	사업(15)	계약(9)	자격과정(6)
방위사업법률 이해	획득정책	항공사업관리	원가회계	소프트웨어시험
방산기술보호	RAM업무	지휘정찰감시체계 사업관리	표준관리	PMP전문과정
감사능력향상	무기체계SW 개발관리	기술관리	규격업무향상	PMP심화과정
	M&S기반 획득	군수지원분석(LSA)	조달관리	감항인증 일반과정
	방산정책	항공무기체계	국내계약	감항인증 보수과정
	절충교역 협상	국방로봇사업	국제협상	감항인증 심화과정
	국방기술개발	ILS요소개발	FMS실무	
	전술/전투차량개발 지원	과학적사업관리	상업구매실무	
	분석평가	유도무기사업관리	국제계약 규범해설	
	시험평가	상호운용성 및 전술데이터링크		
		시설사업관리		
		지상무기		
		사업성과관리 및 목표비용관리		
		함정사업관리		
		함정설계		

종합군수학교에서도 장교, 부사관, 군무원을 대상으로 군수분야 전반에 대한 교육을 실시하고 있으며, 아래 표와 같이 군수정책, 기획관리, 획득관리, 국방자원관리, 종합군수지원 등 무기체계 사업관리 교육과정과 연관된 과정들을 교육하고 있다.

〈표 2-12〉 종합군수학교 군수과정 편성(출처: SMI(2016))

과정명	기수	학급 수	기간	인원
군수정책	1	1	2주	20
기획관리	1	1	1주	20
획득관리	1	1	1주	20
물류관리	2	2	1주	40
국방자원관리	2	2	4주(1주 원격)	100
종합군수지원	3	3	2주	90
환경관리	2	2	2주	40
재난관리	2	2	1주	60
예비역진급자	1	1	3일	70

민간대 교육기관에서도 학위과정에 맞추어 무기체계 사업관리와 관련된 교육을 제공하고 있다. 광운대 방위사업학과에서는 획득체계론, 방위사업개론, 무기체계소요론, 국방연구개발정책론, 과학기술정책론, 국방원가관리론, 시스템공학, 방산정책론, 국방비용분석관리론, 시험평가관리론, 방위산업론, 국방소프트웨어개론 등 무기체계 사업관리 전반에 관련된 내용들이 개론 형식으로 제공되고 있다.

건국대 방위사업학과에서는 국방정책론, 국가안보론, 국방전략기획론, 방위사업론, 분석평가/비용분석, 국방품질경여, 국산화전략, 원가관리, 계약론, 무기과학론, 무기체계공학, 시스템엔지니어링 기초, 전투실험방법론, 유도무기시스템, 통신전자시스템, 특수무기체계 등 광운대와 유사하게 학문에 기반을 둔 개론 형식으로 교육이 제공되고 있다.

한국방위산업진흥회에서는 방산관련 중소기업 근무자를 대상으로 직무교육의 일환으로 자체 교육과정을 개발하여 방위산업 기본, 프로젝트관리, 종합군수지원, 방산원가관리, 무기체계원리, 국방표준화, 국방품질보증, 방산계약, 체계공학, 비용/성과분석, 방산시험평가, 무기체계 S/W개발관리, 군용항공기 감항인증 등의 과정들을 제공하고 있다. 자세한 교육 과정들은 아래 각각의 표에서 확인할 수 있다.

〈표 2-13〉 광운대 방위사업학과 과목 편성(출처: SMI(2016))

트랙	학기	1학기	2학기	3학기	4학기
트랙 공통	공통 필수	획득체계론	방위사업개론	획득체계론	방위사업개론
국방 획득 정책	석사 박사 공통 선택	무기체계소요론 국방연구개발정책론 국방계약법규, 방위산업진흥론 국방획득커뮤니케이션론 국방정책론, 국방행정론 획득제도비교론 과학기술정책론	군사사, 국제방산론 공공조달계약법 국방과학기술정책론 프로젝트관리론 국방획득정책론	획득정책분석론 지식재산권론 방산정책론 기술혁신론 국방시 험평가론 국방리더십개론 국방기획관리론	국방기술기획론 국방지식재산관리론 국방소요공학론 국방기술통제론 국방과학기술정책론 국제기술협력론 방위산업론
국방 경영 관리	공통 선택	국제협상론, 국방예산론 획득사업분석평가론 국방전략경영론 국방의사결정론 EVMS개론, 비교군사론 국방계약관리론, 국방원가관리론 획득군수관리론	System Engineering 국방통합사업관리론 방위산업사례연구 국방예산론, 국방리스크관리론 획득군수관리론 전력발전론 군수관리론	국방경제론, 군수관리론 국방조달관리론, 기술정보관리론 IT프로젝트관리론 국방통합사업관리론 국방경제성분석론, 국방표준관리론 국방비용분석관리론	시험평가관리론 국방원가관리론 국방상호운용성개론 국방재원분배론, 기술경제론 국방기술관리론, 형상관리론 국방FMS관리론
국방 과학 기술	석사 박사 공통 선택	국방과학기술론, 국방IT개론 신재생에너지공학응용 무기체계과학론, 국방체계공학론 국방시스템아키텍쳐론 국방전술통신론 국방 모델링 및 시뮬레이션 특론 국방융합기술응용	무기체계개론 신재생에너지공학개론 레이더공학, 게임군사학 국방M&S개론 국방EA개론	네트워크중심전론 무기체계융합기술론 현대무기체계론, 소프트웨어개론 국방유비쿼터스론 미래전장론, 무기체계통사 사업관리리더십론	국방소프트웨어개론 미래무기체계론, 국방SBA개론 국방의사결정체계론, 국방정보통신론 국방과학기술사 국방융합기술론
논문 작성	공통 필수	연구조사방법론	통계학	연구조사방법론	통계학
논문	공통 필수		논문특별세미나	논문특별세미나	논문특별세미나

〈표 2-14〉 건국대 방위사업학과 과목 편성(출처: SMI(2016))

번호	교과목	번호	교과목	번호	교과목
1	국방정책론	21	계약론	41	전투실험방법론
2	정책결정론	22	기술가치평가론	42	유도무기시스템
3	국가안보론	23	협상론	43	통신전자시스템
4	군비통제론	24	연구개발관리	44	특수무기체계
5	국방전략기획론	25	계량분석론	45	조사연구방법론
6	국제법	26	국방정보화기획	46	안전공학
7	군사법규론	27	방위산업진흥론	47	전력소요기획론
8	남북한 관계론	28	절충교역론	48	시험평가인증
9	지적재산권연구	29	방위사업세미나 1	49	생산시스템분석
10	사회과학연구방법론	30	무기과학론	50	무기체계세미나 1
11	국방정책세미나 1	31	무기체계공학	51	사업감사론
12	방위사업론	32	시스템엔지니어링 기초	52	방위사업세미나 2
13	프로젝트관리	33	의사결정론	53	국제정세론
14	국방자원관리	34	신뢰성 공학	54	국방정책세미나 2
15	분석평가/비용분석	35	국방기술기획	55	전투생존성분석
16	군수품조달론	36	전력운영공학	56	무기효과도분석
17	군수지원	37	M&S 공학	57	시스템엔지니어링 특론
18	국방품질경영	38	S/W 공학	58	무기체계 세미나 2
19	국산화전략	39	감항인증		
20	원가관리	40	War Game		

〈표 2-15〉 한국방위산업진흥회 2016년 교육 프로그램(출처: SMI(2016))

연번	과정명	과정일정			강사
		1기	2기	3기, 4기	
1	방위산업 기본	2.18~19(목,금)	4.14~15(목,금)	6.21~22(화,수) 9.27~28(화,수)	국방획득 분야 근무 경력이 있는 전문강사
2	프로젝트관리(PM)	2.23~24(화,수)	4.19~20(화,수)	9.29~30(목,금)	
3	종합군수지원(ILS)	2.25~26(목,금)	4.21~22(목,금)	10.6~7(목,금)	
4	방산원가관리 중급	2.16~17(화,수)	4.5~6(화,수)	6.2~3(목,금) 11.1~2(화,수)	
5	무기체계원리	3.8~3.9(화,수)	4.26~27(화,수)	10.11~12(화,수)	
6	국방표준화	3.10~11(목,금)	4.28~29(목,금)	10.13~14(목,금)	
7	국방품질보증 실무	3.15~16(화,수)	6.8~9(수,목)	10.18~19(화,수)	
8	방산원가관리 초급	3.17~18(목,금)	5.12~13(목,금)	9.20~21(화,수) 10.20~21(목,금)	
9	방산계약 실무	3.22~23(화,수)	5.10~11(화,수)	9.22~23(목,금) 10.25~26(화,수)	
10	체계공학(SE)	3.29~30(화,수)	10.27~28(목,금)		
11	비용/성과분석	3.24~25(목,금)	11.3~4(목,금)		
12	방산시험평가	6.16~17(목,금)	11.8~9(화,수)		
13	무기체계 S/W개발관리	5.17~18(화,수)			
14	군용항공기 감항인증	5.19~20(목,금)			
15	네트워크 중심 무기체계의 상호운용성 기술	5.24~25(화,수)			
16	무기체계 효과분석 및 체계개발	5.26~27(목,금)			
17	방산수출 전문	5.31~6.1(화,수)			
18	방산경영관리	3.3~4(목,금)	4.7~8(목,금)	11.10~11(목,금)	
19	방산기술보호	4.11~12(월,화)	11.15~16(화,수)		

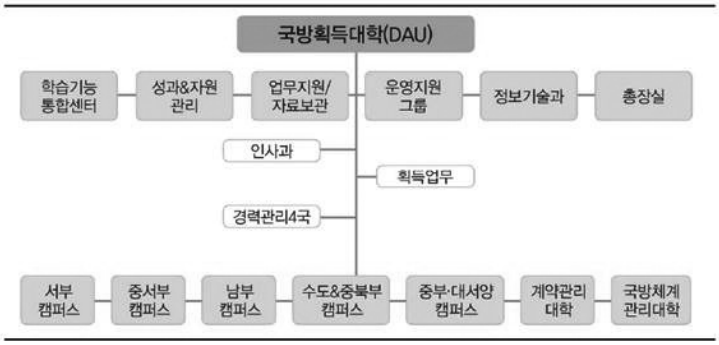
외국의 무기체계 사업관리 관련 교육기관을 살펴보면, 대표적인 기관으로 미국의 DAU(Defense Acquisition University, 국방획득대학교)가 있다. DAU는 1991년 미국방성의 DAWIA(Defense Acquisition Workforce Improvement Act, 국방획득인력 행동강령)[16] 법과 훈령 5000.57에 근거하여 획득 및 소요에 관련된 전문자격을 발전시

16) Garcia, A., Keyner, H., Robillard, T. J., and VanMullekom, M. "The Defense Acquisition Workforce Improvement Act: Five Years Later" Acquisition Review Quarterly, Summer 1997.

키기 위하여 DAU를 설립하였다. 획득 관련 업무의 중요성에도 불구하고 획득 전문인력에 대한 양성이 부족한 문제점을 해결하기 위해, 획득 관련 업무 종사자들이 최소한의 인증된 교육을 받도록 한 것이 특징이다. 보직 자체를 직무교육과 연계시킴으로써 직무교육에 대한 동기부여는 물론 그 전문성을 보증할 수 있도록 하였다.

DAU는 아래 그림과 같이 기능별 조직을 유지하고 있으며, 미 전역에 걸쳐 원활히 교육을 받을 수 있도록 캠퍼스를 운영하고 있다.

〈그림 2-20〉 DAU 조직도(출처: SMI(2016))



지역별 캠퍼스는 수도 및 동부, 중서부, 중부-대서양, 남부, 서부캠퍼스를 비롯하여, 계약관리대학, 국방체계관리대학을 운영하고 있다. 아래 표에서 보는 것처럼 각 캠퍼스는 수요에 기반하여 핵심 지역에 위치함을 알 수 있다.

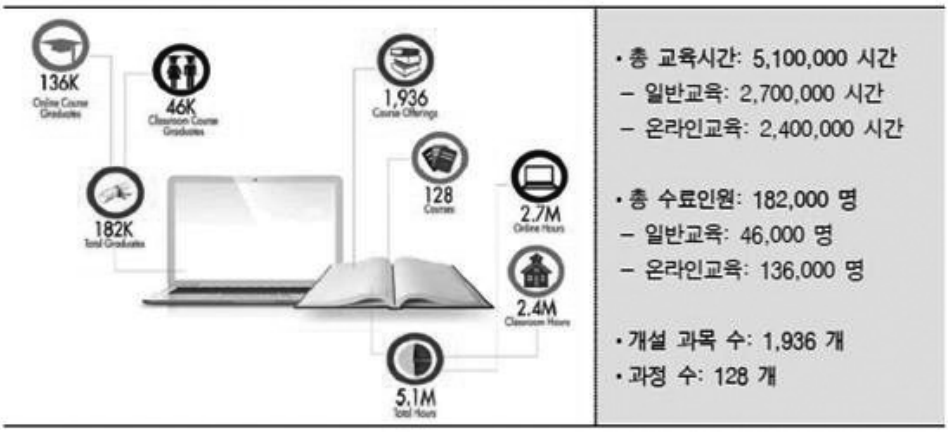
〈표 2-16〉 미 DAU 캠퍼스(출처: SMI(2016))

캠퍼스 구분	운영현황 및 주요특징
서부캠퍼스 (West Campus)	해군의 요충지인 San Diego에 전략적으로 위치해 있으며, 획득교육을 위한 수요를 충족시키는데 집중하며 25,000명이 넘는 국방획득인력을 제공
중서부캠퍼스 (Midwest Campus)	공군물자사령부와 육군 전차/차량/무기사령부, 수명주기관리사령부 및 주요 획득사령부가 위치해있는 오하이오의 Kettering에 위치하여 약 19,000명의 국방획득인력을 제공
남부캠퍼스 (South Campus)	육군의 가장 큰 구매기관이 위치해 있는 Huntsville에 위치하여 남부지역 전체를 지원하고, 28,000명이 넘는 AT&L(미 국방부 획득군수실) 인력을 제공

수도 • 동북부캠퍼스 (Capital and Northeast Campus)	Virginia에 위치하여 전략적으로 DAU가 국방성 및 그 외 다수의 국방성 관련기관들의 종사자들과 협업 및 지원하며 약 33,000명의 AT&L 인력을 제공
중부-대서양캠퍼스 (Mid-Atlantic Campus)	중부-대서양캠퍼스의 교수진 및 행정직원들은 교육, 연구, 임무지원이 주요업무이며, 주요 이슈 및 국방획득인력의 수요를 중점적으로 다루며 관련기관들과 협업
계약관리대학 (CCM, College of Contract Management)	높은 수준의 교수진, 제대로 설계된 과정 및 국방계약관리기관의 획득 인력 능력을 높이기 위해 효과적인 방법으로 교육을 제공
국방체계관리대학 (DSMC, Defense Systems Management College)	DAU의 타 본부들과 함께 Virginia에 위치하며 다음 사항들을 세계 각지에 위치한 AT&L 인력에게 제공. • 관리자 과정 • 국제획득관리과정 • 요구사항관리교육 • 획득리더십교육 • 획득연구 등

DAU의 연간 교육현황에 대한 대략적인 정보는 다음과 같으며, 약 120여개의 과정수, 2000여개의 과목수를 제공하고 있다. 특히, 다양한 캠퍼스를 운영하고 있음에도 불구하고, 물리적, 지리적 제한을 뛰어넘기 위한 온라인 교육에도 많은 투자를 하고 있음을 알 수 있다.

〈그림 2-21〉 2013~2014년 DAU 교육현황(출처: SMI(2016))



교육훈련(training)과정을 살펴보면, 아래 표와 같은 과정을 제공함과 동시에 각 과정마다 구분되는 레벨의 자격획득 및 다음 레벨을 위한 이전 레벨 및 경력을 요구하여 체계적인 전문자격 관리를 실시하고 있다.

〈표 2-17〉미 DAU 교육훈련 과정(출처: SMI(2016))

번호	교육 과정
1	획득 및 프로그램관리, 국제획득 (Acquisition and Program Management, International Acquisition)
2	감사(Auditing)
3	사업-비용추정(Business-Cost Estimating)
4	사업-재정관리(Business-Financial Management)
5	계약(Contracting)
6	공학(Engineering)
7	시설공학(Facilities Engineering)
8	산업/계약 자산관리(Industrial/Contract Property Management)
9	정보기술(Information Technology)
10	수명주기군수(Life Cycle Logistics)
11	생산/품질/제조(Production, Quality, and Manufacturing)
12	구매(Purchasing)
13	과학 및 기술관리자(Science and Technology Manager)
14	시험평가(Test and Evaluation)
15	요구사항관리(Requirements Management)
16	입증 및 실현(Equivalency and Fulfillment)

영국도 국방아카데미를 통해 획득 관련 인력의 전문자격을 부여하고 있다. 영국의 국방아카데미는 국방연구대학, 합동지휘참모대학, 국방교육지원센터, 관리/기술 국방아카데미 등 6개의 교육기관과 외부 협력 교육기관을 통하여 교육을 제공하고 있다.

〈그림 2-22〉 영국 국방아카데미 조직도(출처: SMI(2016))

국방 아카데미의 교육 과정은 사업관리를 위한 협회, 신뢰성 및 정비성의 이해, 공급자 관계 및 향상, 종합군수지원-(계약관리, 각군 지원, 사전시험, 지원성 공학, 총수명비용), 인력요소 통합, EVMS, 지식재산권, 린 기술, 수명주기절차, 국방 계약관리, 프로그램 및 프로젝트 관리, 소요 및 능력 검토, 공급망 관리 등 120여개의 과목을 포함하는 획득과정을 포함하여, 항공학, 통신, 지휘 및 참모훈련, 리더십, 군수, 핵, 안전성 등의 교육과정을 제공하고 있다.

〈표 2-18〉영국 국방아카데미 교육과정(출처: SMI(2016))

교육과정	내 용
Acquisition (획득)	조달에서 폐기까지 모든 과정을 지원
Aeronautics and Airworthiness (항공학 및 내공성)	주요 항공기술 및 관련과목 교육
Command and Staff Training (지휘 및 참모훈련)	국내외 군인 및 공무원들을 위한 향후 지휘관 및 직원훈련
Commercial (상업)	상업종사 직원에게 경험단계 훈련을 제공하고, 非상업분야에 종사하는 직원에게 상업훈련을 제공
Communication (통신)	통신활동기술/소프트 커뮤니케이션 능력관련 교육제공
Defence Policy, Strategy and Parliamentary (국방정책, 전략 및 의회)	정책발전 및 전략, 효과적인 사무기능 등을 교육
Defence and Security Courses (국방안보과정)	군 관련 커뮤니티의 민간인에게 개방, 교육 제공
Employment Training (직업훈련)	MOD 특정임무 혹은 직무발전에 필요한 기술 ,태도, 행동 등을 교육

Equality and Diversity (평등 및 다양성)	E&D에 대한 이해를 높이고 핵심가치를 높이는 교육
Finance (재무)	부서의 재무기술전략 등을 군/민간인에게 교육
Information Capability (정보능력)	특히 사업관련 정보능력향상을 위한 교육 및 훈련제공
Leadership and Management (리더십 및 관리)	효과적 운영을 위한 지도, 관리, 지휘 등을 교육
Logistics (군수)	총 획득수명주기에 걸친 군/장비의 계획, 운송 및 유지에 대한 교육을 제공
Masterclasses (마스터클래스)	현 국방리더십 유지 및 다른 지도자들과 연락망구축
Military Directed Training (군 지향 훈련)	특정임무를 위한 군인교육에 맞게 설계
Nuclear (핵)	1일~1년의 다양한 과정. 그 중 4개의 프로그램은 Cranfield University에서 석사과정으로 제공
Programme and Project Management (프로그램 및 프로젝트 관리)	위기관리, Lean 기술, 총 수명관리 등의 교육제공
Safety, Quality and Assurance (안전성, 품질 및 보증)	MOD조달 필수훈련/교육 및 위험물질관리 특수과정 제공
Science and Engineering (과학 및 공학)	모든 과정 중 가장 기본이 되는 국방기술교육제공
Trainer Support (훈련자 지원)	훈련관리/지원/인력 등 국방 커뮤니티 특정훈련제공

2. 국방대 직무교육원 사업관리 교육

국방대 직무교육원에서는 무기체계 사업관리 교육으로 실무 및 자격시험과 연계한 직무역량 강화와 사업관련 전문지식 및 윤리관 배양을 목표로 무기체계 사업관리와 정보체계 사업관리의 두 과정을 제공하고 있다. 국방 무기체계 사업관리 과정은 2018년 직무교육원의 기본교육계획을 기준으로 3주간의 통합과정인 기본과정 외에도 프로젝트 관리과정, 미 DAU 기본과정, 미 DAU 전문과정, 분석평가과정, 소요관리과정, 연구개발관리과정, 시험평가사양성 기본과정, 시험평가사양성 전문과정, 획득군수과정, 원가관리과정, 계약/협상과정의 12개 과정 195개 과목으로 구성되어 있다.

〈표 2-19〉 2018년 직무교육원 교육과정

구 분	교육기간 (과목수)	교육횟수 /인원	교육주기	교육대상
기본과정	3주 (27)	연 4회 /180명	2.19~3. 9 4. 16~5. 4 9. 3~9.21 11. 5~11.23	• 무기체계 전력발전업무분야 근무(예정)자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상

프로젝트 관리과정	2주 (18)	연 1회 /30명	10.15~10.26	• 사업관리 기본과정 이수자 • 사업관리분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
미. D A U 기본과정	1주 (12)	연 1회 /40명	9.10~9.14	• 사업관리 기본·전문과정 이수자 • 전력발전업무 근무자 - 현역, 공(군)무원, 연구원
미. D A U 전문과정	1주 (11)	연 1회 /40명	9.17~9.21	• 미.DAU 기본과정 이수자 • 전력발전업무 근무자 - 현역, 공(군)무원, 연구원
분석평가 과정	2주 (17)	연 1회 /30명	5.28~6.8	• 사업관리 기본과정 이수자 • 분석평가업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
소요관리 과정	1주 (10)	연 2회/40 명	3.26~3.30 12.10~12.14	• 사업관리 기본과정 이수자 • 소요관리 업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
연구개발 관리과정	2주 (20)	연 1회/20 명	6.18~6.29	• 사업관리 기본과정 이수자 • 연구개발관리업무 분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
시험 평가사 양성 기본과정	2주 (18)	연 2회/60 명	4.9~4.20 11.5~11.16	• 사업관리 기본과정 이수자 • 시험평가관리업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상

시험 평가사 양성 기본과정	1주 (13)	연 1회/20명	11.19~11.23	• 시험평가사 양성 기본과정 이수자 • 기존 시험평가관리과정 이수자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
획득군수 과정	2주 (16)	연 1회/20명	4.2~4.13	• 사업관리기본과정 이수자 • 획득군수업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
원가관리 과정	2주 (14)	연 1회/20명	10.22~11.2	• 사업관리 기본과정 이수자 • 원가관리업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
계약/협상 과정	2주 (19)	연 1회/20명	6.4~6.15	• 사업관리 기본과정 이수자 • 계약협상업무분야 근무(예정)자 • 전력발전업무분야 근무자 - 현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상

기본과정은 "국방 전력발전업무 종사자에게 관련법규 및 절차를 교육하여 국방 무기체계 사업관리 직무지식과 주요 핵심 업무에 대한 이해도 증진 및 업무수행 역량 제고"를 목표로, 국방 무기체계 전력발전업무 전반적인 분야 이해 및 숙지, 국방기획관리제도, 소요기획/계획 관련 업무 이해 및 숙지, 방위력개선 사업관리 관련 업무 이해 및 숙지, 군수운영관리 관련 업무 이해 및 숙지, 사업관리이론 및 기법, 분석평가 관련 업무 이해 및 숙지에 중점을 두고 있다.

프로젝트관리과정은 "방위력 개선사업 종사자에게 프로젝트관리에 대한 기본 지식과 단계/과정별 주요 산출물의 사례 이해를 통해 전문성 향상 및 관리능력을 제고"를 목표로, 프로젝트관리지식(PMBOK) 개념 이해, 프로젝트관리 단계 · 과정별 주요 업무 체계 이해, 프로젝트 계획 수립, 실행 및 통제 단계의 실무능력 함양, 프로젝트관리 상용 프로그램 활용능력 배양에 중점을 두고 있다.

미 DAU 기본과정 및 전문과정은 "미 DAU(국방획득대학) 교육과정을 맞춤형 과정

으로 개설하여 국방획득 및 군수분야 종사자들의 전문성 향상 도모"를 목표로, 미. 국방 무기체계 사업관리 전반적인 분야 이해 및 숙지, 무기체계 소요제기 / 결정, 예산반영 정책 / 절차 이해, 무기체계 획득비용 산정 / 기종결정 관련 정책 및 절차 이해, 총수명주기체계관리 등 군수운영유지 관련업무 이해 및 숙지에 중점을 두고 있다.

분석평가과정은 "국방 분석평가 직무관련 지식을 이해하고, 사업 단계별 분석평가 기법과 사례 · 절차 숙달을 통한 업무 전문성 향상 및 능력제고"를 목표로, 분석평가 관련 배경 지식, 이론 · 기법 및 체계 이해, 방위력 개선사업의 단계별 분석평가 절차 숙지, 사업별 분석평가 보고서 작성 실습을 통한 실무능력 배양에 중점을 두고 있다.

소요관리과정은 "방위력 개선사업의 소요 · 기획 단계에서 필요한 업무절차 숙달을 통한 소요관리업무 전문성 향상"을 목표로, 소요기획 이론 및 업무 수행 체계 이해, 전력 소요제기서 포함사항 숙지, 전력 소요제기서 작성 능력 구비에 중점을 두고 있다.

연구개발관리과정은 "무기체계 획득 방법의 하나인 연구개발에 대한 개념을 숙지시키고, 연구개발 관리에 대한 전문지식 집중교육 및 현장 업무 숙달로 연구개발 관리 능력 향상"을 목표로, 연구개발 관련 규정 / 업무 절차 이해, SE(Systems Engineering) 프로세스 이해, 연구개발 관리 능력 배양에 중점을 두고 있다.

시험평가사 양성 기본과정은 "방위력 개선사업 종사자에게 무기체계 및 전력지원체계 시험평가 관련지식과 단계별 시험평가 업무절차를 숙지시켜 업무 전문성 향상, 국방분야 전문 KOLAS 평가사 양성"을 목표로, 시험평가 단계 · 과정별 주요 업무체계 이해, 시험평가 계획 수립, 실행 및 통제단계의 실무 능력 배양, 실무에서 적용하는 시험평가관리계획서 작성 실습에 중점을 두고 있다.

시험평가사 양성 전문과정은 "국방(방산)분야의 KOLAS 시험평가사(보) 및 기술전문가의 자격 획득을 위해 테일러링과 유효성 검증(감항인증 포함) 등 전문성 획득"을 목표로, KOLAS 국방(방산)분야 추가기술요건 부속서 'D', 무기체계 테일러링 사례(환경시험 기준), 유효성 검증 방법 및 사례, 분야별 시험 및 계측 (기동, 해양, 항공, 환경, 유도 / 총포, 전자, 전자파 등), 과학적 시험평가기법에 중점을 두고 있다.

획득군수과정은 "무기체계획득 관련 ILS업무 수행체계 이해 및 무기체계 수명주기간 주요 ILS 업무분야에 대한 실무능력 향상 제고"를 목표로, OMS/MP 개념 및 RAM 분석 이해, 군수지원분석 기법 이해 및 적용 능력 배양, ILS 요소개발 및 ILS 업무수행 절차 이해 및 숙지, CSP 소요 산출 및 ILS-P 작성법 숙달, 총수명주기체계에서 부품단

종 관리업무 이해 및 능력 향상에 중점을 두고 있다.

원가관리과정은 "원가계산에 필요한 제반 구성요소를 학습시키고 원가산정 실습을 통해 국방조달 계약을 위한 원가관리 능력 배양"을 목표로, 원가기준에 필요한 법령, 규정 이해, 방산물자 원가산정 요소별 계산방법 숙지, 방산물자 및 제비율 원가산정 실습에 중점을 두고 있다.

계약/협상과정은 "계약, 협상, 구매와 관련된 법규, 업무절차, 사후관리 등에 대한 교육을 통한 실무능력 향상"을 목표로, 국가 계약법률, 방위사업법 이해와 숙지, 정부계약제도 및 방위력개선 국내계약 업무 절차 숙지, 방위력개선 국제계약 및 FMS 업무 절차 숙지, 운송/보험, 국제상사중재 절차 이해에 중점을 두고 있다.

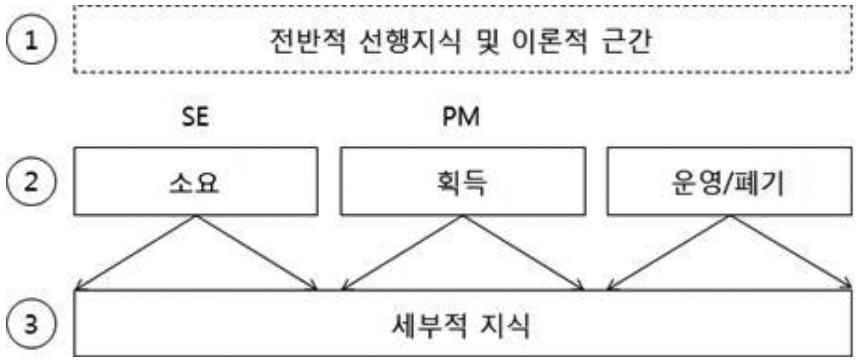
직무교육원의 기본교육계획을 바탕으로 교육과목들이 어떻게 설계되었는지는 알 수 없으나, 앞서 살펴본 국방기획관리제도의 수명주기 과점에서 분류한다면 다음과 같이 분류할 수 있다. 여기서 교육 과정은 고려하지 않았으며, 복잡한 나열을 방지하기 위해 대분류 성격의 과목 제목만으로 분류한 '안' 임을 밝혀둔다.

〈표 2-20〉 수명주기 고려 교육 프로그램 분류(안)

①		②		③
선행지식	• 방위사업 수행체계 이해 (법령, 조직, 제도)	소요기획	• 국방기획관리제도 (PPBEES) • 소요기획관리(ROC포함) • 전력화지원요소 관리 • 분석평가	• 합동성/상호운용성
		획득	• 선행연구/사업추진기본전략 • 국방중기계획 • 연구개발 관리 • 구매 관리(조달관리) • 시험평가 관리 • 전력지원체계 사업관리	• 방산원가 관리 • 방산계약 관리 • 기술성숙도 평가 • 과학적사업관리기법 (CAIV, EVMS, DM&S) • 비용분석 • 절충교역
이론	• 시스템 엔지니어링 (제품 설계/개발) • 프로젝트관리	운영/폐기	• 종합군수지원(ILS) • 총수명주기관리체계	• 표준화 관리 • 부품국산화 • RAM분석 • 국방 PBL 관리

〈표 2-20〉의 분류 기준은 다음과 같다. 국방기획관리의 수명주기를 기준으로 하되 지식전달의 계층화로 전반적 선행지식 및 이론적 근간에 해당하는 1번, 소요, 획득, 운영/폐기로 구분되는 2번, 그리고 좀 더 세부적 지식에 해당하는 3번으로 단계를 구분하였다. 현재 직문교육원에서는 운영상의 목표에 맞도록 1, 2, 3번의 비율을 조정하여 별도의 과정으로 운영하고 있음을 알 수 있다.

〈그림 2-23〉 표 2-20의 분류 기준

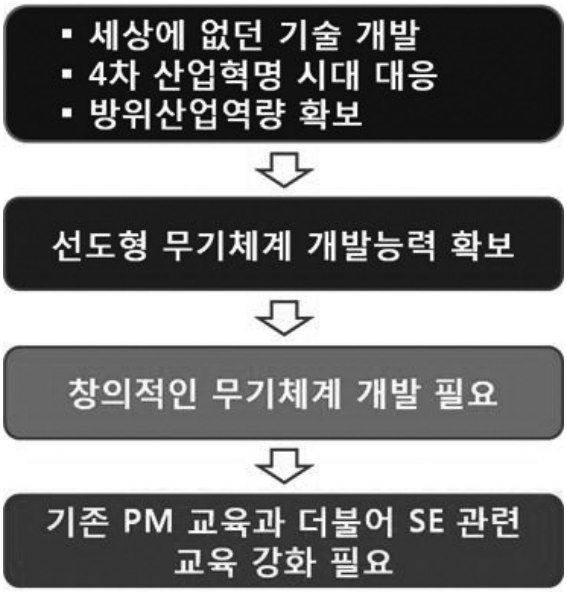


결론적으로 현재 직무교육원의 무기체계 사업관리 교육과정은 과목만을 고려했을 때 수명주기 관점에서 순기에 맞도록 편성되어 있다는 것을 알 수 있다.

Ⅳ. 무기체계 사업관리 교육 내용 제시

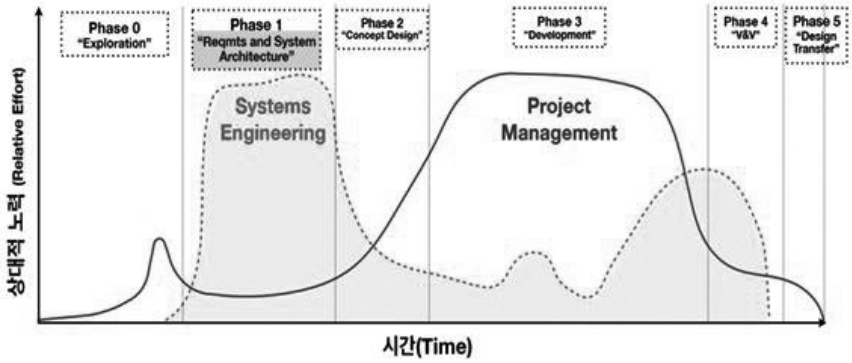
3장에서 재분류한 직무교육원의 교육 프로그램 분류(안)은 국방기획관리제도의 수명주기를 고려하여 그 근거를 찾으려했다는 점에서 의미가 있을 수 있으나, 여전히 주관적일 수 있으며, 분석자에 따라 다른 결과가 나올 수 있다는 단점이 있다. 더불어 4차 산업혁명 시대에 발맞추어 선도형 무기체계 개발능력에 대한 중요성이 커지면서 창의성을 요구하는 현 시대적 상황에도 맞지 않는 측면이 있다.

〈그림 2-24〉 교육체계 발전방향



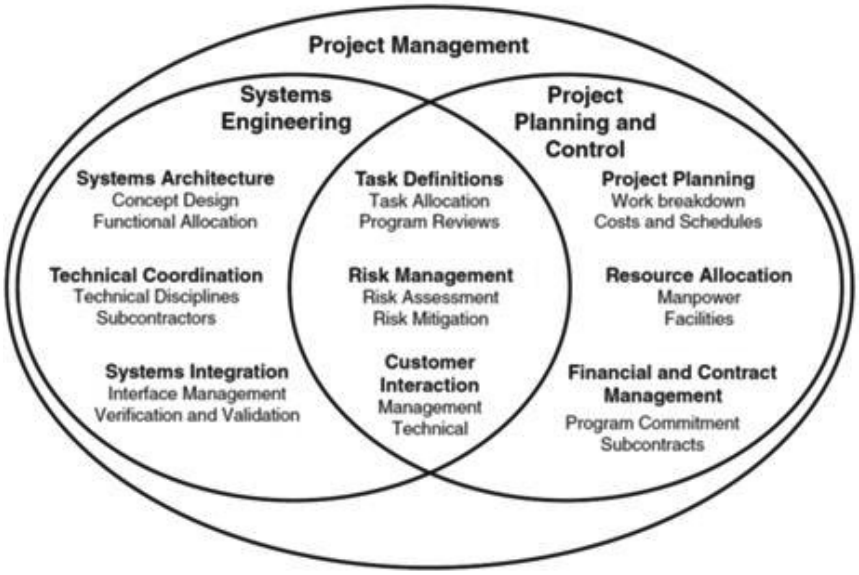
이에 무기체계 사업관리 관련 국방대 전문가들과 10여 차례의 토의를 거치면서 기존 연구들의 주관적인 교육방향 제시(즉, 제시한 안의 근거 제시가 없음)에 머물러 있으며, 이를 개선하기 위해서는 이론적 근거를 바탕으로 한 큰 그림 제시가 필요하다는 결론을 내렸다. 실제 획득 절차 상에서 아래 그림과 같이 체계공학(SE)과 사업관리이론(PMBOK)이 전 수명주기에 걸쳐 중요한 영향을 끼치고 있음을 알 수 있으며, 특히 이들의 관계에 대한 이해가 중요하다.

〈그림 2-25〉 PM과 SE의 역할



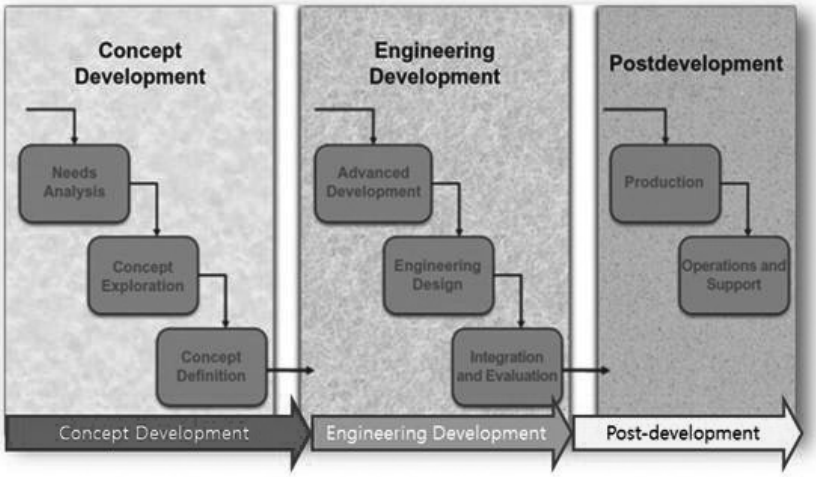
물론, 체계공학(SE)과 사업관리이론(PMBOK)에 근거한 국방 획득체계의 분석이 새로운 것은 아니며, 아래 그림과 같이 그 기능의 차이를 설명한 예도 있었다. 그러나 무기체계 사업관리 교육시 두 가지 이론에 대해 고찰하고 이를 바탕으로 한 교육방안을 제시한 경우를 찾기는 힘들었다.

〈그림 2-26〉 무기체계 사업관리에서의 PM과 SE



체계공학은 아래 체계공학 수명주기 모델에서와 같이 새로운 무기체계를 개발하기 위한 체계적인 절차를 제공해주고 있으며, Concept Development, Engineering Development, Postdevelopment의 절차로부터 소요의 구체화, 설계, 양산 및 운영이 관리될 수 있도록 제시하는 절차이다.

〈그림 2-27〉 SE 수명주기 모델



따라서 아래 표의 이론적 근간을 바탕으로 한 무기체계 사업관리 교육과정(안)을 제시한다.

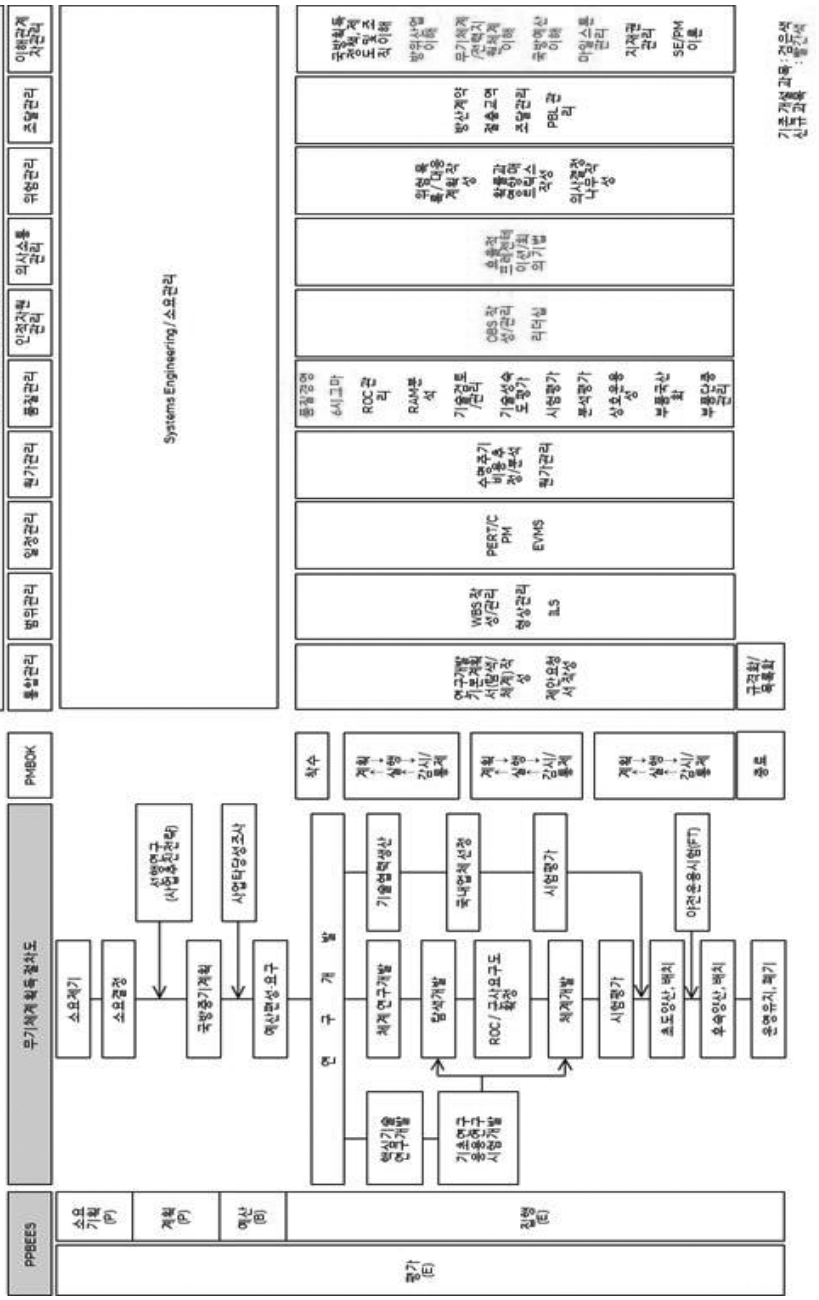
〈표 2-21〉 무기체계 사업관리의 이론적 근간

분 류	이론적 근간
개발 관련	Product Design and Development(Ulrich & Eppinger, 1994)
	Systems Engineering Principles and Practice(Kossiakoff et al., 2002)
사업관리 관련	A Guide to the Project Management Body of Knowledge(PMI, 2013)
	Extention to: A Guide to the Project Management Body of Knowledge(US DoD, 2003)

〈표 2-22〉 무기체계 사업관리의 이론적 근간

교육과정	내 용
Acquisition (획득)	조달에서 폐기까지 모든 과정을 지원
Aeronautics and Airworthiness (항공학 및 내공성)	주요 항공기술 및 관련과목 교육
Command and Staff Training (지휘 및 참모훈련)	국내외 군인 및 공무원들을 위한 향후 지휘관 및 직원훈련
Commercial (상업)	상업종사 직원에게 경험단계 훈련을 제공하고, 非상업분야에 종사하는 직원에게 상업훈련을 제공
Communication (통신)	통신활동기술/소프트 커뮤니케이션 능력관련 교육제공
Defence Policy, Strategy and Parliamentary (국방정책, 전략 및 의회)	정책발전 및 전략, 효과적인 사무기능 등을 교육
Defence and Security Courses (국방안보과정)	군 관련 커뮤니티의 민간인에게 개방, 교육 제공
Employment Training (직업훈련)	MOD 특정임무 혹은 직무발전에 필요한 기술 ,태도, 행동 등을 교육
Equality and Diversity (평등 및 다양성)	E&D에 대한 이해를 높이고 핵심가치를 높이는 교육
Finance (재무)	부서의 재무기술전략 등을 군/민간인에게 교육
Information Capability (정보능력)	특히 사업관련 정보능력향상을 위한 교육 및 훈련제공
Leadership and Management (리더십 및 관리)	효과적 운영을 위한 지도, 관리, 지휘 등을 교육
Logistics (군수)	총 획득수명주기에 걸친 군/장비의 계획, 운송 및 유지에 대한 교육을 제공
Masterclasses (마스터클래스)	현 국방리더십 유지 및 다른 지도자들과 연락망구축
Military Directed Training (군 지향 훈련)	특정임무를 위한 군인교육에 맞게 설계
Nuclear (핵)	1일~1년의 다양한 과정. 그 중 4개의 프로그램은 Cranfield University에서 석사과정으로 제공
Programme and Project Management (프로그램 및 프로젝트 관리)	위기관리, Lean 기술, 총 수명관리 등의 교육제공
Safety, Quality and Assurance (안전성, 품질 및 보증)	MOD조달 필수훈련/교육 및 위험물질관리 특수과정 제공
Science and Engineering (과학 및 공학)	모든 과정 중 가장 기본이 되는 국방기술교육제공
Trainer Support (훈련자 지원)	훈련관리/지원/인력 등 국방 커뮤니티 특정훈련제공

<그림 2-28> SE/PM에 기반한 무기체계 사업관리 교육과정(안)



먼저, 무기체계 개발과 관련된 이론으로는 제품생산과 관련한 이론인 제품생산/설계를 설명하고 있는 국내외에서 사용하고 있는 저서인 product design and development가 있고, 대규모의 복잡한 시스템의 경우에 사용될 수 있는 체계공학에 관련된 저서인 Systems engineering principles and practice가 있다. 이들은 소요기획 및 무기체계 개발을 위한 체계적인 이론의 틀을 제시할 수 있다.

무기체계 사업관리와 관련된 이론으로는 2장에서 설명한 PMBOK과 더불어 미 국방성에서 출판한 적이 있는 PMBOK 확장판이 있다. 미 국방성의 PMBOK 확장판에는 국방획득과 연계시켜 체계공학, S/W획득, 군수, 시험/평가, 제조/생산의 추가적인 지식영역을 포함시킨 것이 특징이다. 그러나, 미 국방성의 PMBOK 확장판은 더 이상 최신화가 되지 않고 있다.

SE/PM에 기반한 무기체계 사업관리 교육과정(안)은 기존 국방기획관리제도의 절차 안에서 소요기획/관리에 해당하는 부분을 체계공학과 관련된 과목들로, 사업추진전략서를 기초로 획득을 진행하는 부분을 PMBOK과 관련된 과목들로 구성할 수 있음을 보여준다. 체계공학과 관련된 과목들은 동시에 수행되고 있는 다른 연구에 의해 제시될 예정이며, PMBOK에 관련된 과목들은 기존 개설과목(검은색)과 추가 신규과목(빨간색)으로 구분하여 체시하였다. SE/PM을 기반으로 함으로써 과목 편성에 대한 이론적 근거를 제공할 수 있으며, 체계적으로 과목을 구성할 수 있는 틀로써 사용될 수 있을 것이다.

V. 결 론

국방 무기체계 사업관리 교육은 군사력 건설이라는 큰 축을 담당하는 직무자의 전문성을 제고하기 위한 중요한 사항으로, 장기적인 투자와 관심이 필요하다. 최근 무기체계 사업관리 교육의 중요성을 피력하는 연구들과 교육을 제공하는 기관의 설립에 관련된 연구들이 수행된 가운데, 본 연구는 이론에 기반한 무기체계 사업관리 교육방안을 제시하는 것을 목표로 수행되었다.

제시된 방안은 SE/PM에 기반한 교육과정으로 무기체계 수명주기 전반에 걸쳐 근간이 되는 이론을 바탕으로 큰 그림을 제시하였으며, 각 이론의 이해를 위한 참고할 수 있는 책으로 Product Design and Development(Ulrich & Eppinger, 1994), Systems

Engineering Principles and Practice(Kossiakoff et al., 2002), A Guide to the Project Management Body of Knowledge(PMI, 2013), Extention to: A Guide to the Project Management Body of Knowledge(US DoD, 2003)을 명시하였다.

SE/PM에 기반한 무기체계 사업관리 교육과정(안)에는 국방기획관리제도의 절차와 연계한 이론들의 관계를 명확히 하면서도, PMBOK에 근거한 기존 개설과목 분류 및 신규 추가과목을 실제로 제시하였다. 체계공학에 해당하는 과목 분류 및 제시는 동시에 수행된 연구에 의해 제시됨을 밝힌다.

[요약]

1. 연구의 배경

- 국방 무기체계 사업관리는 국방획득 업무와 관련된 다양한 분야에서 최적의 무기체계가 도입되고 운영되도록 관리하는 것을 의미함.

- 국방획득은 우리 군이 원하는 목적을 달성하기 위한 군사력 건설의 실체적 활동이라 볼 수 있으며, 2018년도 기준 국방예산 43.2조원에서 방위력 개선비가 31.3% (13.5조원)를 차지할 정도로 중요한 분야임.

- 이와 더불어 각종 안보환경의 변화와 효율성의 강조는 국방 무기체계 사업관리 관련 종사자들의 전문성에 대한 요구를 더욱 증가시키고 있는 실정이며, 무기체계 사업관리 분야는 과학기술의 직접적인 영향을 받는 무기체계를 다룬다는 점에서 선도형 무기체계 개발, 무기체계의 첨단화, 고비용화, 개발의 장기화 등 과학기술의 발전에 따라 변화되는 양상을 반영할 수 있어야하는 도전에 직면해있음.

2. 연구의 목표

- 본 연구는 국방 무기체계 사업관리 교육과정의 발전방안을 제시하는 것을 목표로 하고 있으며, 기존 연구들과 달리 정립된 이론을 바탕으로 교육과정의 근본적인 방향성을 제공하는데 중점을 둠. 기존 연구들은 왜(why) 보다는 무엇(what) 즉, 과정 제목 결정에만 치우쳐 있었음.

• 연구 범위 및 목표:

1) 무기체계 사업관리의 이론 이해: 무기체계 사업관리의 이론적 배경을 규명하고, 실제 무기체계 획득과 관련한 제도 및 절차의 큰 그림을 분석하고 이해함.
2) 현 무기체계 사업관리 교육과정 분석: 국내외 무기체계 사업관리 교육 과정들을 살펴보고, 특히 국방대학교 직무교육원의 교육과정을 분석하여 현재 진행중인 무기체계 사업관리 교육의 현 주소를 규명함.
3) 무기체계 사업관리 교육과정 발전방안 제시: 사업관리 이론의 이해 및 현 교육과정 분석을 바탕으로 교육과정 발전방안을 제시함.

3. 사업관리 이론

• 국내외 사업관리의 역사와 기원을 밝히고, 차후 발전방안의 기초가 될 PMBOK(A Guide to the Project Management Body of Knowledge)을 제시함.

• PMBOK은 프로젝트 이해관계자의 요구나 기대를 충족시키기 위하여 지식, 기술, 도구 및 기법을 프로젝트에 적용하여 수행하는 제반 관리활동인 프로젝트관리를 위한 이론적 지식들을 담고 있음.

• PMBOK의 지식영역은 통합(integration), 범위(scope), 일정(time), 비용(cost), 품질(quality), 리스크(risk), 인적자원(human resource), 의사소통(communications), 조달(procurement), 이해관계자(stakeholder)로 구성됨(제5판 기준).

4. 국내외 무기체계 사업관리 교육 현황

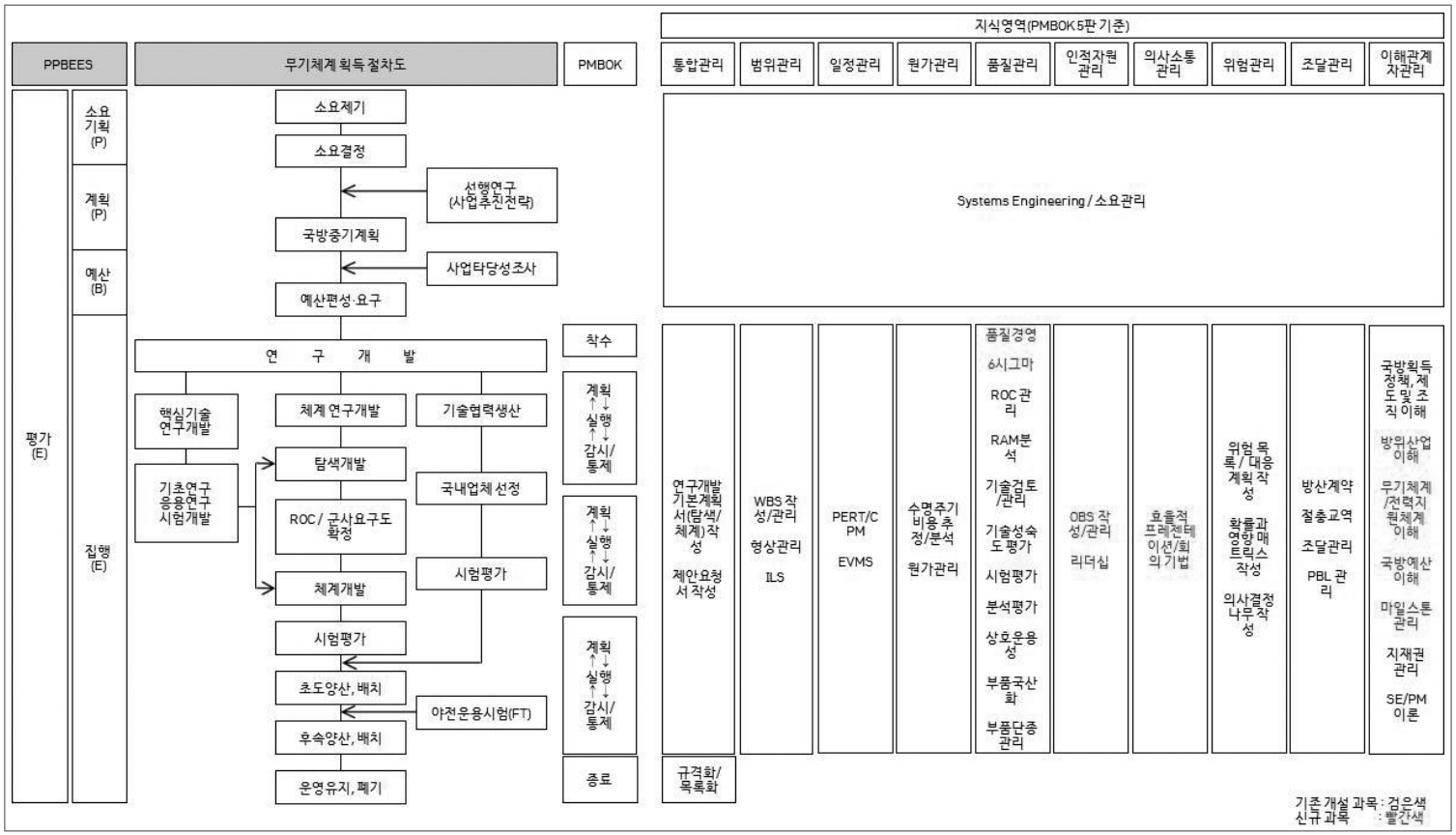
• 국내외 기관의 교육 현황을 조사하였고, 특히 직무교육원의 무기체계 사업관리 과목들을 수명주기 및 지식의 계층화로 구분하여 현재 현황을 다음과 같이 제시함.

선행지식 및 이론		기획관리제도 순기		세부 지식
선행지식	• 방위사업 수행체계 이해 (법령, 조직, 제도)	소요기획	• 국방기획관리제도 (PPBEES) • 소요기획관리(ROC포함) • 전력화지원요소 관리 • 분석평가	• 합동성/상호운용성
		획득	• 선행연구/사업추진기본전략 • 국방중기계획 • 연구개발 관리 • 구매 관리(조달관리) • 시험평가 관리 • 전력지원체계 사업관리	• 방산원가 관리 • 방산계약 관리 • 기술성숙도 평가 • 과학적사업관리기법 (CAIV, EVMS, DM&S) • 비용분석 • 절충교역
이론	• 시스템 엔지니어링 (제품 설계/개발) • 프로젝트관리	운영/폐기	• 종합군수지원(ILS) • 총수명주기관리체계	• 표준화 관리 • 부품국산화 • RAM분석 • 국방 PBL 관리

5. 무기체계 사업관리 교육방안

• 연구 및 토의를 바탕으로 SE/PM에 기반한 무기체계 사업관리 교육과정(안)을 다음과 같이 제시함. 제시한 교육과정(안)에는 국방기획관리제도의 절차와 연계한 이론들의 관계를 명확히 하면서도, PMBOK에 근거한 기존 개설과목 분류 및 신규 추가 가능과목을 실제로 제시함.

〈그림 2-1〉


PPBEES
무기체계 획득 절차도
PMBOK
지식영역(PMBOK 5판 기준)
통합관리
범위관리
일정관리
원가관리
품질관리
인적자원 관리
의사소통 관리
위험관리
조달관리
이해관계자관리
평가 (E)
소요 기획 (P)
계획 (P)
예산 (B)
집행 (E)
소요제기
소요결정
선행연구 (사업추진전략)
국방중기계획
사업타당성조사
예산편성·요구
연 구 개 발
착수
핵심기술 연구개발
체계 연구개발
기술협력생산
계획→실행→감시/통제
기초연구 응용연구 시험개발
탐색개발
국내업체 선정
ROC / 군사요구도 확정
계획→실행→감시/통제
체계개발
시험평가
시험평가
계획→실행→감시/통제
초도양산, 배치
야전운용시험(FT)
후속양산, 배치
운영유지, 폐기
종료
Systems Engineering / 소요관리
연구개발 기본계획서(탐색/체계)작성
제안요청서 작성
WBS 작성/관리
형상관리
ILS
PERT/CPM
EVMS
수명주기 비용 추정/분석
원가관리
품질경영
6시그마
ROC 관리
RAM분석
기술검토/관리
기술성숙도 평가
시험평가
분석평가
상호운용성
부품국산화
부품단종관리
OBS 작성/관리
리더십
효율적 프레젠테이션/회의기법
위험 목록/대응계획작성
확률과 매트릭스 작성
의사결정 나무작성
방산계약
절충교역
조달관리
PBL 관리
국방획득 정책,제도 및 조직 이해
방위산업 이해
무기체계/전력지원체계 이해
국방예산 이해
마일스톤 관리
지재권 관리
SE/PM 이론
규격화/목록화
기존 개설 과목 : 검은색
신규 과목 : 빨간색

국방정보체계 사업관리 교육과정 발전방안

| 국방대학교 강 동 수

Ⅰ. 연구개요
Ⅱ. 환경 분석
Ⅲ. 정보체계 사업관리 교육 프로그램 진단 및 분석
Ⅳ. 국방정보체계 사업관리 교육 프로그램
Ⅴ. 결론

Ⅰ. 연구 개요

1. 연구 배경 및 필요성

국내외 안보환경과 국방획득 여건 변화, 방위산업의 위기 등 내·외부 환경변화는 효율적인 국방 획득사업에 필요한 전문 인력과 이를 양성하기 위한 국방획득 전문교육의 내실화 요구를 꾸준히 증대시키고 있다. 이러한 전문성 강화의 지속적 요구에 발맞추어, 국방획득분야 인력의 직무전문성 향상을 위해 방위사업청은 국방개혁 2.0의 추진방안으로 국방대학교의 직무연수원의 직무 교육과 방위사업청의 획득교육센터의 직원교육 기능을 통합한 획득교육원 설립을 추진하고 있다.

일반적으로 공무원(군인, 일반적 공무원 등의 사업관리 인력)의 전문성은 해당직무와 관련된 전문(전공 등)지식을 바탕으로 근무를 통한 경험과 교육을 통해 경험적 지식을 체득하여 해당직무(업무)의 원활한 수행능력과 유관분야 직무(업무)에 대한

능력을 갖추는 것이다.

이러한 국방 획득인력의 전문성 제고는 제4차 산업혁명 시대에 적응하고, 국내 외 안보환경 변화에 따라 한정된 자원으로 국방의 과학화, 첨단화, 정예화를 이루기 위해서는 무엇보다도 중요하다. 육 해 공군 소요군의 소요요청을 효과적으로 구현하고 국방예산을 효율적으로 활용하기 위해서는 획득인력의 전문성 강화와 역량을 향상시키기 위한 교육이 요구된다.

국방부, 방위사업청, 각 군, 방위산업체 등 국방 획득사업과 관련된 직원들의 직무 전문성 향상을 위해 기존 교육과정과 교과목에 대한 검토가 필요한 것은 이것 때문이다. 교육으로 전문성이 향상되면 발생되는 문제들이 점차 줄어들 것이고, 이는 나아가 국가 경쟁력으로 이어질 것이다. 국방획득 분야에서 직무교육을 담당하고 있는 국방대학교 직무연수원은 국방사업관리사의 국가자격화 시행과 연계하여 교육과정의 발전을 위한 교과과정 발전 방안을 마련하고자 한다. 이를 위해 국방사업관리 분야 직무종사자의 전문성 향상을 위한 국방대 직무교육원 국방사업관리 교육과정 교과목의 재설계가 필요하다.

2. 연구 목표 및 범위

가. 연구목표

본 연구의 목적은 국방정보체계 사업관리 교육과정을 살펴보고, 분석하여 국방정보체계 사업관리 전문인력 양성을 위한 교육 과목을 개선한다.

나. 연구기간 : 2018.06.01. ~ 2018.10.31. / 5개월

다. 연구 범위 및 요구 내용

- 정보체계개발사업을 관리하는 획득전문 인력의 전문성 제고를 위한 교육과정 프로그램을 검토하고, 교과목을 제시한다.

- (중간 연구보고서 제출) 연구용역 수행기관 (자) 은 연구용역 중간보고 기한 내에 연구 추진 진도 및 상황에 관하여 중간 연구보고서를 제출하여야 한다.

※ 중간 연구보고서 : 중간 연구결과 요약 (A4용지 기준 10매 이상)

- (최종 연구보고서 제출) 연구용역 수행기관 (자) 은 연구용역 계약 만료일 이전에 최종 연구 보고서 파일과 연구비 정산결과보고서 (증빙서류 포함) 를 제출하여야 한다.

※ 최종 연구보고서 (A4용지 기준 50매 이상 / 요약본 3매 내외)

Ⅱ. 환경 분석

1. 국방 획득환경과 변화

가. 환경변화 분석

(1) 안보환경과 사회 변화

남북 정상회담과 북미정상회담 이후 한반도는 종전선언과 평화공존에 대한 기대감이 높아지면서 이러한 평화 공존기에 잠재 위협으로 규정하고 있는 주변국 위협이 어떻게 변화할 것인가에 대한 관심이 커지고 있다. 일부 전문가들은 북한의 위협을 주변국 위협으로 대체해야 한다는 미래 주장도 등장하고 있다. 평화 공존기에는 남북이 더 이상 서로에게 군사적 위협을 주거나 느끼지 않는 상태로 국방획득사업을 시작하는 소요제기부터 획득환경 전반에 영향을 받을 것이다.

4차 산업혁명시대 지능정보화 사회를 주도할 핵심기술로 ICBMS(IoT, Cloud, Big data, Mobile, Security)와 인공지능 기술이 주목받고 있다. 다양한 ICBMS와 인공지능 기술을 적용한 네트워크화 된 미래 전장환경이 전장상황을 공유하고, 전력의 기능을 통합하는 사이버전, 제5세대 전쟁의 형태로 패러다임이 변화하고 있는 국방 분야는 사이버 공격 감지, 장차작전 예측, 유비쿼터스 전장환경 구축, 빅 데이터 기반 군사적 판단능력 향상과 스마트폰 앱을 활용한 전장상황 공유, 드론, 무인잠수함 등 육·해·공 무인체계들을 운용하고 개발하기 시작할 것이다.

이러한 최신기술을 이용한 현대 무기체계의 자동화 및 지능화는 국방 획득 사업업무의 복잡화를 야기하고, 국방 획득사업 추진에 고도의 전문성을 요구할 것이다. 또한 국방개혁 2.0의 방위사업 분야에서 추진되고 있는 국방획득 전문교육기관 설립 추진

에 따라 국방획득분야 종사자의 전문성 증진을 위한 국방대학교 직무연수원의 국방정보체계 사업관리과정 교과목 개선 필요성에 대해 대내·외적 공감대가 형성되었다.

(2) 국방 인력의 전문성과 인재개발 패러다임의 변화

일반적으로 군인, 공무원 등의 정보체계사업관리 인력의 전문성은 해당직무와 관련된 전문지식을 바탕으로 근무를 통한 경험과 교육을 통한 전문적 지식을 바탕으로 맡은 해당직무의 원활한 수행능력과 유관분야 직무에 대한 지식과 소통 능력을 갖추는 것이다. 소요기획부터 사업관리, 운영 등 정보시스템의 생명주기에 따라 요구되는 지식은 다르다. 이렇듯 다양한 국방 획득분야에서 근무하는 인력이 필요로 하는 전문성은 여러 사람이 달리 정의할 것이다.

하지만, 국방 획득분야의 각 직무분야에 공통적으로 요구되는 전문성은 군사(軍事)와 무기체계에 대한 이해를 기본적으로 하고 있다. 국방 획득업무에서 군사 분야의 전문성이란 전술지식과 군의 경험을 바탕으로 군이 요구하는 무기체계 운용개념과 생명주기를 이해하는 능력을 의미할 것이다. 이러한 전문성은 세부적인 관련 업무에 따라 정책수립, 사업관리, 기술관리, 운영관리로 나누어 볼 수 있다.

현대의 인재개발 패러다임은 변화하고 있다. 과거의 특정분야의 지식과 기술 등을 단순하게 활용하는 인재에서 융합과 협업이 되는 인재를 요구하고 있다. 미래 인재는 제4차 산업혁명 등 변화하는 환경에 끊임없이 적응하고, 이를 보다 조직에 유리하게 변화시킬 수 있는 비판력과 창의력, 실천력을 갖춘 인재여야 한다.

그래서 인재개발 교육 방향도 변화하여야 한다. 과거 직무중심의 인재개발은 개인이 맡게 되는 직무를 규정하고, 직무 요건에 적합한 인력 채용은 환경 변화가 적은 안정적인 업무 환경에는 효과가 있지만, 외부환경 변화가 잦은 사업관리 업무는 직무 탄력성이 높아 끊임없이 변화하는 환경을 전제로 변화에 적응할 수 있는 교육 내용이 필요하다. 기본적인 이론과 그 이론을 바탕으로 한 응용분야의 지식과 경험이 모두 요구된다는 것이다.

(3) 국방사업관리사의 국가자격화

국방사업관리사는 국방부 장관이 자격을 부여하던 것을 2018년부터 국가자격으로

격상하여 올해 11월 첫 국가자격 시험을 치르게 된다. 실시분야는 무기체계와 정보체계 3급 시험이 치러지게 되며 시험과목은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 사업관리사 시험 과목 (2018년)

검 정 과 목		등급	자격 관리기관	검정 시행부대
무기체계	• 프로젝트관리 • 국방사업수행체계 및 착수관리 • 국방사업 특수관리영역-Ⅰ • 국방사업 특수관리영역-Ⅱ	3급	국방부	국방대학교
정보체계	• 프로젝트관리 • 국방사업수행체계 및 착수관리 • 국방사업 특수관리영역-Ⅰ • 국방사업 특수관리영역-Ⅱ	3급	국방부	국방대학교

응시자격은 국가자격이 시행되기 전과 같이 시험실시 전일까지 <표 3-2>와 같은 기준을 충족한 자로 한다. 또한 무기체계 또는 정보체계 중 해당분야로 한정하며, 응시자격과 상이한 분야로 응시한 경우는 무효로 한다는 단서 조항이 있다. 이러한 응사자격 제한은 일반적인 국가자격 제도의 기준에 맞추어 검토가 필요할 것으로 판단된다.

국방사업관리사의 국가자격 시행과 연계한 교육과정의 변화와 발전이 요구되고 있으며, 국방사업관리 분야 직무종사자의 전문성 향상을 위한 국방대 직무연수부의 국방정보체계 교육과목의 재설계가 필요하다.

〈표 3-2〉 시험 응시자격 기준 (2018년)

자격 등급			응시자격 기준
국방사업 관리사 국방사업 관리사	3급 3급	응시 자격	• 국방대학교 사업관리기본과정 이수자 (무기체계, 정보체계) • 국방대학교 관리대학원 전공학위 취득한 자 - 무기체계 : 군수조달 전공, 무기체계 전공, 군사운영분석 전공 - 정보체계 : 컴퓨터공학 전공 • 민간 대학의 방위사업학을 전공하여 석사 학위를 취득한 자 (무기체계, 정보체계) • 국내·외 국방사업관리 실무 자격증을 취득 한 지 5년 이내의 자 - 미국 PMP 자격증을 취득한 자(무기체계) - 국내 프로젝트 경영사 자격증을 취득한 자(무기체계) - IT-PMP 자격증을 취득한 자(정보체계) * 위 4가지 중 하나에 해당하는 자
		경력	• 해당 없음

(4) 정보체계 구축과 기술진부화

정보체계 구축에 있어서 IT기술은 가장 중요한 핵심요소로서 인식되어 왔으며, 적용된 정보통신 기술의 수준은 바로 정보통신체계의 능력으로 이어진다. 그러나 현재의 무기체계 획득절차는 소요제기 후 전력화까지 장기간이 소요되어 소요기획 단계의 기술이 전력화 단계에서는 진부해지는 현상이 있어 기술추세를 반영하지 않으면 문제가 된다.

정보체계 획득에 있어 기술 진부화는 기존의 무기체계 획득절차와 빠른 기술발달 속도를 고려했을 때 피할 수 없는 문제이며, 이에 대한 개선이 필요하다. 기술 진부화는 획득기간 중 계속적으로 신기술은 등장하고 있으나 새로운 기술 관리가 미흡하고, 적극적으로 적용을 추진할 수 있는 제도적 장치가 미흡하여 발생한다. 특정기술이나 지식, 시스템이 시간의 경과에 따라 기술성과의 한계가 나타나지 않도록 정보통신기업의 빠른 발전과 함께 우리의 정보체계 획득 교육과정에도 변화가 요구하고 있다.

대표적으로 통신 인프라의 일부분으로 전/평시 고정 기반체계가 없는 임의의 지역에 전개하여 통신 네트워크를 구성하는 전술적인 통신체계인 TICN(Tactical Information Communication Network) 구축 사업의 경우 핵심기술이 되는 정보통신 기술의 빠른 발전으로 인하여 최초 소요 및 소요 결정 후 최종 전력화 단계까지의 장

기간으로 인하여 기술 진부화를 우려하는 목소리가 있다.

TICN은 NCW의 ISR-C4I-PGM(Precision Guided Munition)간의 원활한 데이터 송수신을 위하여 고속 대용량 정보의 실시간 유통을 보장하는 전술통신기반체계로 임의의 지형에서 유선 및 무선의 전송로를 구축하여 부대간의 음성, 전문 및 영상 등과 같은 다양한 정보형태의 데이터를 공유할 수 있도록 보장하는 네트워크 환경을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

〈표 3-3〉 TICN 사업추진일정과 관련분야 기술발전

구 분	과거 → 기간의 경과 → 미래					
사업단계	개념연구	탐색개발	ROC 결정	체계개발	시험평가	전력화
이동통신 기술	3G(CDMA, WCDMA)			4G(LTE)	4G(LTE-A)	5G

TICN은 NCW(Network Centric Warfare)의 구성요소 가운데 통신 인프라의 일부분으로 전·평시 고정 기반체계가 없는 임의의 지역에 전개하여 통신 네트워크를 구성하는 전술적인 통신체계를 말한다. TICN의 핵심기술에는 통신 인프라 기술이 적용되고 있으나, 정보통신 기술의 빠른 발전추세에 따라 기술 진부화가 우려된다. TICN 사업추진일정과 관련분야 기술발전 모습은 〈표 3-3〉과 같다.

나. 국방 획득 절차

국방 획득사업은 무기체계와 전력지원 체계로 나누어 획득되고 있다. 여기에 조달품목이 있다. 국방부에서는 국방전력업무를 무기체계와 전력지원체계 모두에 대하여 소요, 획득과 운영유지를 포함한 전력증강과 관련된 업무라고 규정하고 있다. 국방전력발전업무에서 정의하고 있는 무기체계 업무 절차도는 〈그림 2〉와 같다. 방위사업법에서는 방위력 개선사업은 군사력을 개선하기 위한 무기체계의 구매 및 신규개발·성능개량 등을 포함한 연구개발과 이에 수반되는 시설의 설치 등을 행하는 사업이라

고 정의하고 있다.

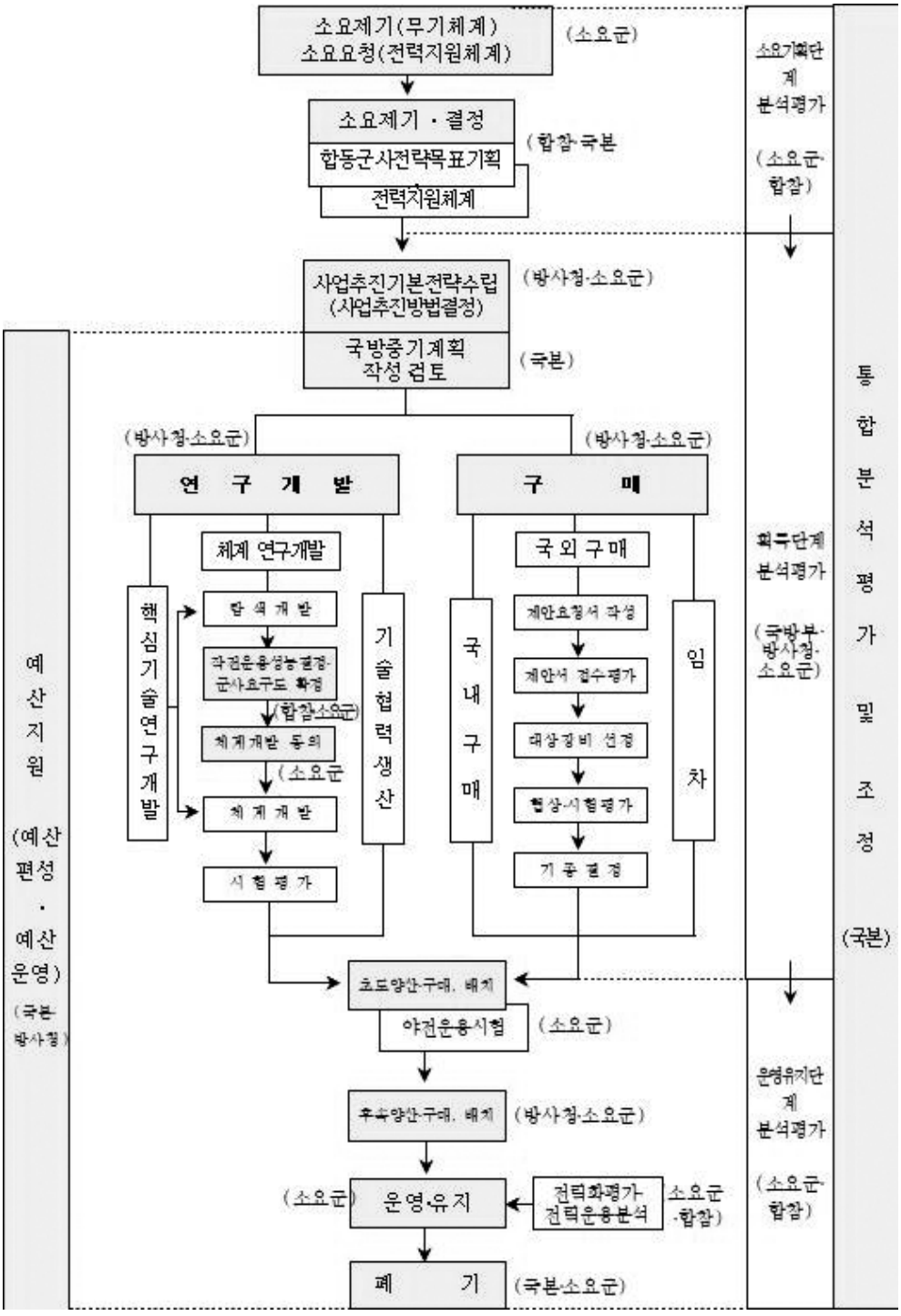
여기서 무기체계는 유도무기·항공기·함정 등 전장(戰場)에서 전투력을 발휘하기 위한 무기와 이를 운영하는데 필요한 장비·부품·시설·소프트웨어 등 제반요소로 정의되어 있으며, 군수품은 국방부 및 그 직할부대·직할기관과 육·해·공군이 사용·관리하기 위하여 획득하는 물품으로서 무기체계 및 전력지원체계로 구분되어 있다.

이러한 무기체계, 전력지원체계의 국방 획득절차는 각 군에서 소요제기를 하고 이러한 소요제기를 선행연구를 통해 사업추진기본전략을 만들고 이 과정에서 기술적, 경제적, 정책적 타당성을 거쳐 사업화하여 추진된다. 사업추진 방법을 크게 연구개발과 구매로 나눌 수 있으며, 연구개발은 탐색개발, 체계개발, 시험평가 등의 절차로 추진된다. 이러한 과정동안 관련된 군사지식과 사업관리, 예산관리 등의 단계별, 영역별 전문지식이 요구된다. 연구개발 사업기간의 세부 사업내용은 <그림 3-1>과 같다.

<그림 3-1> 연구개발 사업 기간

<table>
<tr><th colspan="12">연구개발 사업기간</th></tr>
<tr><th colspan="4"></th><th colspan="6">연구개발기간</th><th colspan="2"></th></tr>
<tr><th>입찰 공고</th><th>제안서 평가</th><th>협상 우선 대상 심의</th><th>체계개발 동의서
-
체계개발 실행계획서</th><th>계약</th><th>개발</th><th>개발 시험 평가</th><th>운용 시험 평가</th><th>전투용 적합 판정</th><th>규격화</th><th>수락 시험</th><th>소요군 인수</th></tr>
</table>

〈그림 3-2〉 국방전력발전 무기체계 업무 절차도 (출처: 국방전력발전업무 훈령)



2. 환경분석 종합 및 시사점

현재의 주변 환경과 요구되어지는 업무를 분석하여 종합해 보면 다음과 같은 특징을 갖는다. 한반도의 평화 공존기에 따른 무기체계 소요의 변화와 정보통신 기술 발전에 따른 4차 산업혁명, 이에 따른 국방개혁 2.0을 진행하고 있으며, 과거 단순한 업무지식 요구에서 변화에 적응하는 직무탄력성을 가지고, 기술진화 속도를 반영하지 못한 기술 진부화 문제를 극복하여야 있다. 여기에 교육과 관련된 국가자격제도화가 현재의 환경이다. 이러한 내용을 정리해 보면 다음과 같다.

① 남 · 북 정상회담과 북.미 정상회담에 따른 평화 공존기 예상
② 정보통신 기술과 인공지능 기술을 중심으로 한 4차 산업혁명 진행
③ 국방개혁 2.0 추진과 국방획득전문 교육기관 설립 추진
④ 국방사업관리사의 국가 자격화
⑤ 인재개발 패러다임의 변화 → 과거 단순 업무 지식 요구에서 다양한 환경 변화에 적응할 수 있는 직무탄력성이 높은 인재 요구
⑥ 사업의 장기화에 따라 정보통신 기술 진부화 문제 발생 가능성

이러한 현재의 환경은 과거 단순한 업무지식이 아니라 다양한 환경에 적응할 수 있는 인재를 요구하고, 이러한 인재는 4차 산업혁명에 따른 다양한 정보통신 기술 지식과 인공지능 기술에 대한 지식, 기술 발전에 따른 기술을 습득할 수 있는 능력을 가진 인재 양성을 요구한다. 이러한 인재 양성을 위해 국방사업관리사 국가자격과 병행하여 교육과정 세부과목에 대한 검토가 이루어져야 한다는 것이다.

Ⅲ. 정보체계 사업관리 교육 프로그램 진단 및 분석

1. 국방정보체계 사업관리과정 교육 내용

가. 국방정보시스템

국방정보화는 국방정보시스템의 연구개발 및 구매, 정보자원관리, 정보화평가, 정보화 기반기술(상호운용성, 사이버방호, 정보기술아키텍처 등)의 적용, 정보화 新기

술관리, 전담기관 지정·운영, 국방정보화책임관협의회 운영 등에 관한 절차, 기준, 원칙에 관한 사항으로「국방정보화업무훈령」에 따라 이루어진다. 이러한 국방정보화의 산물인 국방정보시스템은 <그림 3-3>과 같이 무기체계와 전력지원체계에 속해 있다.

〈그림 3-3 〉 무기체계와 전력지원체계에서의 정보시스템

이러한 국방정보체계 사업관리과정의 교육 대상이 되는 국방정보시스템[1]은 국방정보의 수집·가공·저장·검색·송신·수신 및 그 활용과 관련되는 기기 등 응용소프트웨어와 기반운영환경의 조직화된 체계를 말하며 국방정보시스템의 응용소프트웨어는 다음과 같이 분류하고 있다.

① 전장관리정보체계(지휘통제, 전투지휘, 군사정보체계)
② 자원관리정보체계(기획·재정, 인사·동원, 군수·시설, 전자행정 상호운용성)
③ 국방 M&S체계(연습·훈련용, 분석용, 획득용)

현재 교육과정명은 체계로 관련 훈령인 국방전력업무발전훈령에서는 시스템을 체계로 분류하여 혼용하여 쓰고 있으며, 용어는 통일화가 필요해 보인다. 국방전력발전

1) 국방부, 국방전력업무발전훈령 제230조 국방정보시스템의 분류

업무훈령에 명시된 국방정보시스템은 자원관리 정보체계, 국방 M&S체계와 기반운영환경으로 구분하여 <표 3-4>와 같이 기능별로 대상 장비를 나타내고 있다.

정보시스템의 기반운영환경은 주장비, 통신망, 단말기, 주변장치, 시설, 사이버방호체계, 상호운용성 관리에 필요한 시스템, 그 밖의 시스템 소프트웨어를 말한다. 이러한 분류에도 불구하고 국방정보시스템의 구분이 불명확하여 이견이 있는 경우에는 국방정보화책임관실무협의회의 심의를 거쳐 결정하도록 하고 있다.

<표 3-4> 국방정보시스템

중분류	소분류	대상 장비
자원관리 정보체계	기획·재정 정보체계	조직정원관리체계, 국방통합재정정보체계, 국방정보자원관리체계 등
	인사·동원 정보체계	국방통합인사정보체계, 국방동원정보체계, 국방의료정보체계 등
	군수·시설 정보체계	군수통합정보체계, 육·해·공군 장비정비정보체계, 국방탄약정보체계, 국방수송정보체계 등
	전자·행정 정보체계	홈페이지 및 포탈시스템, 지식관리시스템, 국방통합전자도서관체계 등
국방M&S 체계	분석용	전시자원소요산정모델, 전투근무지원분석모델 등
기반운영 환경	정보통신망	무기체계를 제외한 정보통신망
	컴퓨터체계	서버장비(서버), 개인장비(PC), 저장장비, 입력장비, 기타 부수장비, 회의장비, 기본 소프트웨어
	사이버방호 체계	공통/기반보호체계, 네트워크보호체계, IT플랫폼보호체계, 응용체계보호체계, 보호관리체계
	상호운용성 체계	공통운용환경체계, 데이터공유환경체계, 상호운용성평가체계, 정보기술표준체계, 정보기술아키텍처체계, 국방M&S표준자료체계

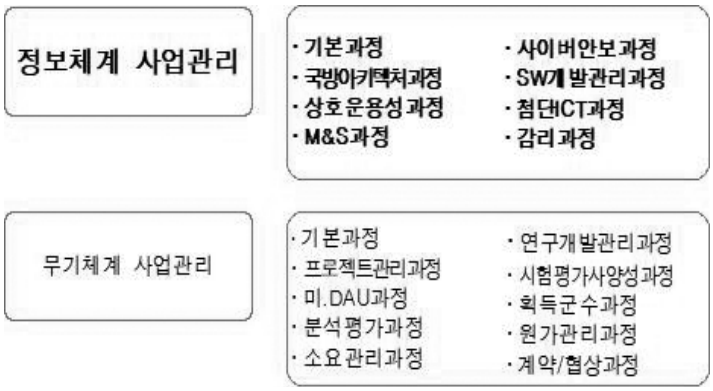
나. 정보체계 사업관리 교육 프로그램 진단 및 분석

정보체계 사업관리 교육의 근거는 국방대학교 설치법과 그 시행령 제5조에 근거 한다. 법에 따르면 "직무연수부는 국방부장관이 정하는 특별과정에 관하여 필요한 학술을 교수한다."고 되어 있다. 여기에 따라 매년 교육 목표를 세우고 직무교육과정 기본

교육계획을 만들어 교육을 수행하고 있다.

2018년 직무교육과정 기본교육계획에 따르면 교육목표는 국방 분야 공직자에게 요구되는 직무수행능력과 분야별 창의적인 전문지식 및 실무능력을 갖춘 미래지향형 국방 전문인력을 육성으로 하고, 교육중점은 직무에 요구되는 관련 법규, 제도 및 업무 체계를 이해하고 숙지하는데 두고 있다. 교육대상은 국방부 본부 및 소속기관, 방위사업청 소속 현역/공(군)무원, 합참, 연합사 소속 현역/군무원과 기타 유관기관 근무자로 하고 있다. 특히 사업관리 교육인 국방정보체계 사업관리 과정은 국방정보 분야 전문성 향상을 위한 맞춤식 교육으로 진행하고 있다.

〈그림 3-4〉 사업관리 교육 (1~3주)



사업관리 과정은 〈그림 3-4〉와 같이 정보체계와 무기체계로 나누어져 있으며, 국방정보체계 사업관리 과정의 교육운영 방향은 실무 및 자격시험과 연계한 직무역량 강화와 사업관련 전문지식 및 윤리관을 배양하는 데 있다. 이러한 교육운영 방향에 따라 2018년도에는 국방정보체계 사업관리 교육과정과 대상을 〈표 3-5〉와 같이 정하고 있다.

〈표 3-5〉 국방정보체계 사업관리 교육과정 및 대상(2018년 기준)

과 정	기간 (주)	횟수 (회)	계획 인원(명)	교 육 대 상
종합	11	13	4,940	
기본과정	3	2	80	• 정보체계 사업관리부서 근무(예정)자 • 각급 교육기관 정보화교육 교관 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상

국방 아키텍처	1	1	20	• 사업관리 기본과정 이수자 • 국방아키텍처관련 분야 근무(예정)자 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
상호운용성	1	1	30	• 사업관리 기본과정 이수자 • 상호운용성 업무분야 근무(예정)자 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
M & S	1	1	20	• 사업관리 기본과정 이수자 • 국방M&S 업무분야 근무(예정)자 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
사이버안보	1	2	60	• 사업관리 기본과정 이수자 • 정보화업무분야 근무(예정)자 • 각 부대 전산 실무자 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
SW개발관리 (신규)	1	1	30	• 사업관리 기본과정 이수자 • SW 관련 업무분야 근무(예정)자
첨단ICT	1	3	90	• 사업관리 기본과정 이수자 • 소요기획부서 정보화 업무 담당자 • SW 관련 업무분야 근무(예정)자 *현역, 공(군)무원, 방산업체 대리급 이상
감 리	2	2	50	• 정보체계사업관리 기본과정 이수자 • 정보체계사업 업무 2년 이상 근무자 • 정보체계 개발사업 참여(예정)자 * 현역, 공무원, 군무원 등

2. 프로그램 진단 및 분석

국방 정보체계 사업관리과정 교과목 편성은 8개 과정 125개 과목으로 편성되어 있다. 전반적으로 법령, 규정과 사업관리에 필요한 다양한 지식들을 교육 과정으로 선정하여 교육하고 있다. 국방정보체계 사업관리 교육과정은 총 8개 과정으로 기본과정과 이와 연계한 7개 전문과정으로 구성되어 있다. 교과목은 일부 행정과 교양과목을 제외하면 <표 3-6>과 같이 102개 세부 과목으로 구성되어 있다.

〈표 3-6〉 국방정보체계 사업관리 교육과정 및 과목수

교과명	과목수	교과명	과목수
기본과정	16	사이버안보과정	10

국방아키텍처과정	10	SW개발관리과정	10
상호운용성과정	10	첨단ICT과정	11
M&S과정	9	감리과정	26

편성된 과목은 일부과정에서 “공직자의 솔선수범”, “입교·수료식/과정소개”와 “평가/설문”은 공통과목으로 편성되어 있다. 교육과정과 세부교과목은 <표 3-7>과 같으며, 공직자의 솔선수범 등 일부 교양과목과 설문조사 등의 행정과목은 이탤릭체로 표시 하였다.

과정의 구성을 살펴보면 기본과정은 프로젝트와 관리와 관련된 PM교육과 정보체계의 개발, 시험평가, 발주관리와 같은 일반적인 과목을 교육하고, 국방아키텍처과정, 상호운용성과정, M&S과정, 사이버안보과정, SW개발관리과정, 첨단 ICT과정과 감리과정으로 나누어 교육하고 있다.

<표 3-7> 국방 정보체계 사업관리과정 세부 교과목 편성

과정명 (시간/과목수)	과 목 명(교육시간)	
기본과정 (108 / 20)	• 프로젝트 관리(3) • 국방정보화정책/사업관리(3) • IT-PMP(40) • 국방아키텍처(4) • 정보화사업 발주관리(4) • 정보체계 시험평가(4) • 정보체계 감리(3) • 요구사항 관리(3) • 정보체계 개발 관리절차(4) • 국방 상호운용성(3)	• 정보체계 기술관리(2) • 국방M&S체계(3) • 사업추진간 보안대책 검토(4) • SW-ILS(3) • 4차 산업혁명과 국방(4) • MS-Project 실습(6) • 분임 연구(4) • 현장 학습(7) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(2)
과정명 (시간/과목수)	과 목 명(교육시간)	

국방 아키텍처 과정 (38 / 13)	• 국방아키텍처 개념(3)/On-line • 공직자의 솔선수범(3) • 국방아키텍처 정책(2) • 국방아카텍처 개념(4) • 상호운용성 평가 및 확보(3) • 정보화 총수명주기 관리(3) • 소요기획 및 획득단계 아키텍처 활용(4)	• 국방아카텍처 프레임워크 소개(3) • 국방아키텍처 구축/관리방법(3) • 국방아키텍처 산출물 소개(3) • 국방아키텍처 관리시스템 소개(4) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(1)
상호 운용성 과정 (35 / 13)	• 공직자의 솔선수범(3) • 국방상호운용성 정책(2) • 국방상호운용성 일반(3) • 상호운용성 기술기준(3) • 국방정보화 표준 일반(3) • 정보보증 일반(3) • 국방아키텍처 실무(3)	• 상호운용성평가 일반(2) • 소요평가실무(3) • 수준측정실무(3) • 운용시험평가실무(4) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(1)
M&S과정 (35 / 12)	• 국방 M&S 정책/제도(2) • M&S 일반(3) • 모델 연동 기술관리(4) • SBA 획득관리(3) • 분석 M&S 체계(3) • 전투실험(4)	• 연습/훈련(3) • LVC체계개념/M&S모의분석사례(3) • M&S 개발 사례(4) • 현장 학습(3) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(1)
사이버 안보 과정 (39 / 13)	• 정보보호개론(4) • 공직자의 솔선수범(3) • 국방정보보호 정책(3) • 사이버방호 개념(4) • 정보보호 관리제도(3) • 네트워크 일반 / 공격(3) • 네트워크 보안기술(2)	• 서버 보안(4) • 클라이언트 보안(2) • SW개발 보안(3) • 사이버방호 수준평가/작전 수행절차(6) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(1)
SW개발 관리 과정 (35 / 11)	• SW 정책 및 제도(2) • UML언어/데이터베이스 이해(4) • 프로젝트 관리(3) • SW 개발 프로세스(4) • SW 신뢰성 시험(3) • SW 품질관리(4)	• SW 비용 및 원가산정(3) • SW 개발방법론(4) • SW ILS(3) • SW 개발 보안(3) • 입교·수료식/과정소개/설문(2)
과정명 (시간/과목수)	과 목 명(교육시간)	

첨단ICT 과정 (36 / 14)	• 공직자의 솔선수범(2) • 레이저무기 기술동향 및 군 적용(2) • 3D프린팅 기술 및 군 활용방안(2) • GPS 기술 및 군 활용방안(2) • 4차산업혁명과 국방(3) • AI와 국방적용(4) • 로봇시스템 소개 및 국방적용방안(3)	• 5G 기술동향 및 전망(3) • 가상현실 기술 및 국방적용방안(3) • 국방분야 빅데이터 활용(4) • 무인항공기 개발현황 및 국방적용(2) • 논리적 망분리 및 보안성 강화 방안(2) • 입교·수료식/과정소개(2) • 평가/설문(2)
감리과정 (70 / 29)	• 감리원의 윤리 및 감리 우수사례(2) • 정보시스템 감리원 자격제도 운영(1) • 정보시스템 감리 관련 법제도(1) • 정보시스템 감리점검체계(2) • 정보시스템 감리착수실무/수행가이드(2) • 정보시스템 구축 방법론-CBD 중심(3) • (특강) 소프트웨어 개발 보안 진단(3) • (특강) 감리동향 및 발전 방안(1) • 사업관리 감리(3) • 품질보증활동 감리(3) • 응용시스템 감리(3) • 데이터베이스 감리(3) • 시스템 구조 및 보안 감리(3) • 정보화전략계획 수립 감리(3) • 시스템 운영 및 유지보수 감리(3) • 데이터베이스 구축 감리(3) • 정보기술아키텍처 구축 감리(3)	• 실습 감리팀 구성 및 점검항목(1) • 영역별 감리실무 업무 개요(2) • 산출물 검토 및 범위 확인(3) • 인터뷰/현황확인 및 문제점 도출(5) • 문제점 정리/개선방안 제시(2) • 개별 감리보고서 작성(3) • 감리영역별 토의 및 개별 강평(2) • 감리보고서 발표/감리 종료회의/강평(2) • (특강)소프트웨어 개발보안 진단(3) • 입교·수료식 / 과정소개(2) • 평가(1) • 분임 친화활동(2)

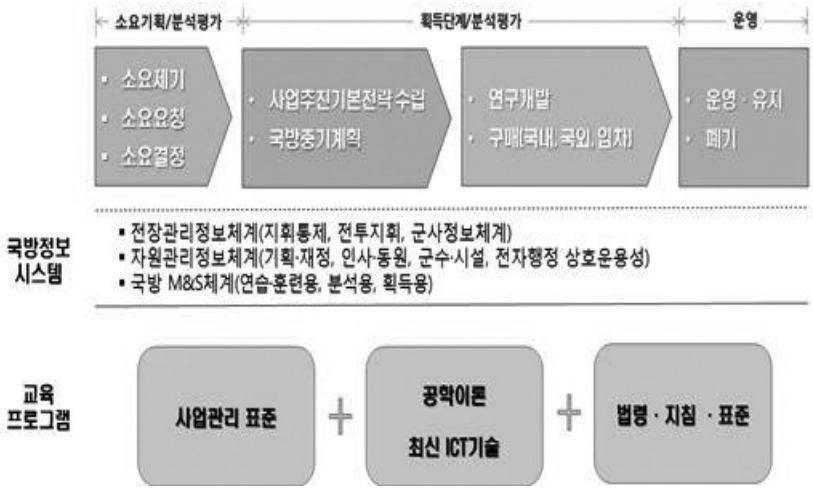
Ⅳ. 국방정보체계 사업관리 교육 프로그램

1. 교육 프로그램 설계

정보기술의 발달과 4차 산업혁명의 영향력은 사회 전반의 패러다임을 전환하고 사회전반적인 구조에 변화가 예상된다. 이에 대한 국방획득 환경도 변화하고 있어 현장에서 필요하고 미래변화에 대비하기 위한 역량 개발이 가능한 맞춤형 교육프로그램이 필요하다.

이러한 변화에 대응하기 위해서는 국방 정보시스템의 획득 사례를 통해 미래에 발생 가능한 위험을 예측하고, 국방 획득 환경에서 직면한 다양한 책임과 도전들에 대한 심층 분석과 토론, 사례 실습을 통해 문제해결 능력을 향상할 수 있는 교육프로그램이 마련되어야 한다. 이를 위해 국방정보시스템 교육프로그램 설계 방향을 첫째, 사업관리 표준 기반 지식영역별 교육, 둘째, IT 프로젝트의 특성을 고려한 기본 이론·최신 ICT 기술 교육, 셋째, 정보시스템 구축과 관련 법령·국방정보화 지침/표준 교육으로 나누어 설계 방향을 잡고자 한다. 교육프로그램 설계 방향은 〈그림 3-5〉와 같다.

〈그림 3-5〉 교육 프로그램 설계 방향



가. 사업관리 표준 기반 지식영역별 교육

사업관리와 관련된 표준은 〈그림 3-6〉과 같이 여러 종류의 국제·국내 표준들이 있다. 먼저 국제 표준화 기구(International Organization for Standard) 사업관리 표준인 ISO 21500 (Guidance on Project Management)와 이를 기반으로 국내에서 한국 기술표준원의 프로젝트 관리 지침인 KS A ISO 21500이 있다. 그리고 국내에 많이 알려지고 교육되고 있는 미국 ANSI(America National Standard Institution) 표준인 PMI(Project Management Institute)의 PM-BOK(Project Management Body of Knowledge)이 있다. 또한 영국(Cabinet Office)의 사업관리 표준인 PRINCE2(Project IN Controlled Environment)도 있다. 대부분의 표준은 범위, 일정, 비용 등의 사업관리 지식영역으로 나누어 관리 기술에 대해 표준관리 방안들을 제시하고 있다.

〈그림 3-6〉 국제사업관리 표준

국내에서 이루어지는 대부분의 사업관리 교육은 미국 PMI의 표준인 PM-BOK을 기반으로 교육되고 있으며, PMI가 부여하는 프로젝트 관리 전문가(Project Management Professional) 자격을 보유한 인력은 매년 증가하고 있는 추세이다. 프로젝트 관리 지식영역을 기술하고 있는 PM-BOK(Project Management Body of Knowledge)은 1996년 최초 출판되어 2017년에 애자일(Agile) 방법론을 고려한 제6판이 출판되어 있다. PMI에 따르면 2017년 현재 유효한 PMP자격을 보유한 사람은 전 세계적으로 79만명 정도 되며, 자격 유지는 일정기간이 지나면 갱신하도록 제도화 되어 있다. 프로젝트

관리 전문가(Project Management Professional) 인증서는 <그림 3-7>와 같다.

<그림 3-7> 프로젝트 관리 전문가인증서

미국 PMI의 표준인 PM-BOK(제5판)은 <그림 3-8>와 같이 통합(6개), 범위(6개), 일정(7개), 원가(4개), 품질(3개), 인적자원(4개), 의사소통(3개), 위험(6개), 조달(4개), 이해관계자(4개) 등 10가지 지식영역과 47개의 세부 프로세스로 구성되어 있다. 총 47개의 프로세스는 착수(2개), 기획(24개), 실행(8개), 감시 및 통제(11개), 종료(2개)로 나누어진다.

개정된 PM-BOK(제6판)은 <그림 3-9>과 같이 통합(7개), 범위(6개), 일정(6개), 원가(4개), 품질(3개), 자원(6개), 의사소통(3개), 위험(7개), 조달(3개), 이해관계자(4개) 등 10가지 지식영역과 49개의 세부 프로세스로 구성되어 있다. 총 49개의 프로세스는 착수(2개), 기획(24개), 실행(10개), 감시 및 통제(12개), 종료(1개)로 나누어진다.

〈그림 3-8〉 PM-BOK 지식영역(제5판)

Knowledge Areas	Project Management Process Groups				
	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring and Controlling Process Group	Closing Process Group
4. Project Integration Management	4.1 Develop Project Charter	4.2 Develop Project Management Plan	4.3 Direct and Manage Project Work	4.4 Monitor and Control Project Work 4.5 Perform Integrated Change Control	4.6 Close Project or Phase
5. Project Scope Management		5.1 Plan Scope Management 5.2 Collect Requirements 5.3 Define Scope 5.4 Create WBS		5.5 Validate Scope 5.6 Control Scope	
6. Project Time Management		6.1 Plan Schedule Management 6.2 Define Activities 6.3 Sequence Activities 6.4 Estimate Activity Resources 6.5 Estimate Activity Durations 6.6 Develop Schedule		6.7 Control Schedule	
7. Project Cost Management		7.1 Plan Cost Management 7.2 Estimate Costs 7.3 Determine Budget		7.4 Control Costs	
8. Project Quality Management		8.1 Plan Quality Management	8.2 Perform Quality Assurance	8.3 Control Quality	
9. Project Human Resource Management		9.1 Plan Human Resource Management	9.2 Acquire Project Team 9.3 Develop Project Team 9.4 Manage Project Team		
10. Project Communications Management		10.1 Plan Communications Management	10.2 Manage Communications	10.3 Control Communications	
11. Project Risk Management		11.1 Plan Risk Management 11.2 Identify Risks 11.3 Perform Qualitative Risk Analysis 11.4 Perform Quantitative Risk Analysis 11.5 Plan Risk Responses		11.6 Control Risks	
12. Project Procurement Management		12.1 Plan Procurement Management	12.2 Conduct Procurements	12.3 Control Procurements	12.4 Close Procurements
13. Project Stakeholder Management	13.1 Identify Stakeholders	13.2 Plan Stakeholder Management	13.3 Manage Stakeholder Engagement	13.4 Control Stakeholder Engagement	

〈그림 3-9〉 PM-BOK 지식영역(제6판)

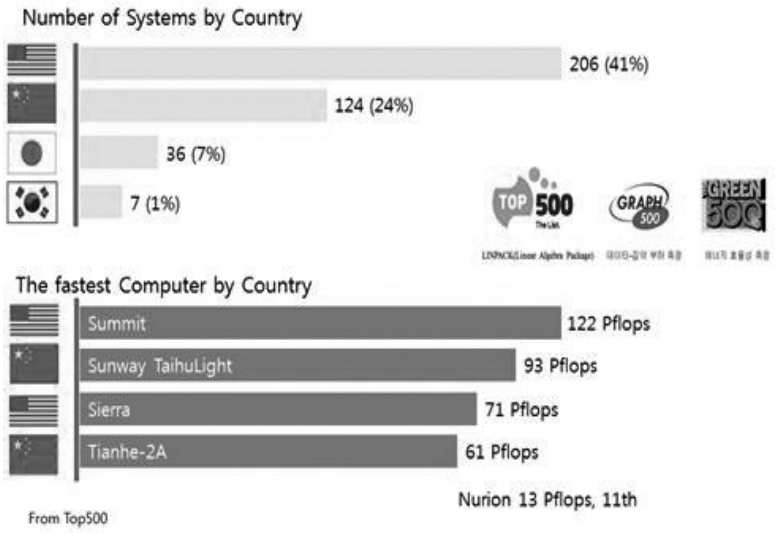
Integration	Scope	Schedule	Cost	Quality	Resource	Communications	Risk	Procurement	Stakeholders
1. Develop Project Charter	1. Plan Scope Management	1. Plan Schedule Management	1. Plan Cost Management	1. Plan Quality Management	1. Plan Human Resource Management	1. Plan Communications Management	1. Plan Risk Management	1. Plan Procurement Management	1. Identify Stakeholders
2. Develop Project Management Plan	2. Collect Requirements	2. Define Activities	2. Estimate Costs	2. Manage Quality	2. Estimate Activity Resource	2. Manage Communications	2. Identify Risks	2. Conduct Procurements	2. Plan Stakeholder Engagement
3. Direct & Manage Project Work	3. Define Scope	3. Sequence Activities	3. Determine Budgets	3. Control Quality	3. Acquire Resource	3. Monitor Communications	3. Perform Qualitative Risk Analysis	3. Control Procurements	3. Manage Stakeholder Engagement
4. Manage Project Knowledge	4. Create WBS	4. Estimate Activity Duration	4. Control Costs		4. Develop Team		4. Perform Quantitative Risk Analysis		4. Monitor Stakeholder Engagement
5. Monitor & Control Project Work	5. Validate Scope	5. Develop Schedule			5. Manage Team		5. Plan Risk Response		
6. Perform Integrated Change Control	6. Control Scope	6. Control Schedule			6. Control Resource		6. Implement Risk Response		
7. Close Project or Phase							7. Monitor		

나. IT 프로젝트의 특성을 고려한 기본 이론·최신 ICT 기술 교육

정보기술의 발달과 4차 산업혁명의 영향력은 사회 전반의 패러다임을 전환하고 미래는 ICT(Information Communication and Technology)를 기반으로 빠르게 변화하고 있다. 정보통신기술의 빠른 발전추세에 맞추어 관련 기술을 교육하여야 국방정보체계 사업관리 분야에서 기술진부화를 예방할 수 있다. 먼저 국방정보체계와 관련된 기본 이론 과목인 소프트웨어공학, 네트워크 공학, 보안, 데이터베이스 공학과 UML(Unified Modeling Language) 등 기본적인 ICT를 이해할 수 있는 소양과목을 교육하고, 이와 연관된 최신 트렌트 기술을 교육함으로써 기본과 응용이 조화된 기술구조를 이해할 수 있도록 도와야 한다. 이를 위해 다음과 같은 다양한 관련 지식이 필요하다.

2018년 10월 기준 컴퓨터 성능은 122 Petaflops의 성능을 보이고 있는 미국의 Summit 컴퓨터 이며, 우리나라의 경우 한국과학기술정보연구원에서 2018년 설치한 NURION이 13 Petaflops의 성능을 보여 11위를 차지하고 있다. 이렇듯 IT의 기반이 되는 컴퓨터 성능은 나날이 발전하고 있으며 현황은 〈그림 3-10〉과 같다.

〈그림 3-10〉 고성능 컴퓨터 순위(TOP 500, 2018.6. 기준)



최신 IT 트랜드 기술을 소개하자면 제4차 산업혁명 시대의 핵심 기술[2]로는 ICBMS(IoT, Cloud, Big data, Mobile, Security)와 인공지능 기술이 중심이 되어 산업혁명을 이끌고 있다. 산업혁명의 발전은 증기기관, 전기, 컴퓨터를 중심으로 발전하여 현재에 이르고 있으며, 산업 발전은 인간에게 육체적인 노동으로부터 여유를 가져다 주었고 인간은 생각하고 창의적인 것을 만들어낼 수 있는 것에 집중하여 지식중심의 사회를 만들었고 인공지능 기술의 발달로 지능 사회로 나아가고 있다.

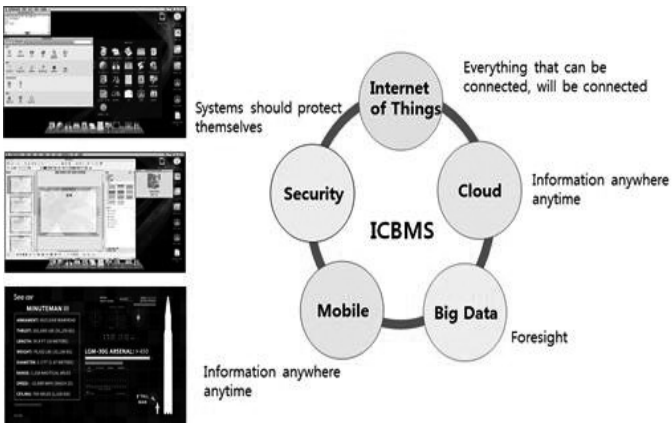
또한, 〈그림 3-11〉과 같이 인공지능 기술에 기반 한 고(Go)의 시대를 열고 있다. 인공지능 기술의 하나인 딥러닝(Deep Learning) 기술로 국내에 인공지능 열풍과 투자를 촉진했던 구글 Deepmind의 알파고(Alpha Go, 2015), 전 세계적으로 포켓몬 선풍을 일으킨 Niantic의 게임 포켓몬고(Pokemon Go, 2016), No Line, No Check out이라는 슬로건으로 등장하여 미국에서 아마존 직원에게 베타서비스 중인 아마존의 아마존고(Amazon Go, 2017)와 스마트자동차의 플랫폼을 제공하는 인텔의 Intel Go는 다양한 인공지능 기술 기반의 실제 사례로 설명되고 있다.

2) 강동수, ICBMS+AI 기술을 이용한 국가안보 발전방향 연구, 군사과학정책연구(RINSA), (2017) 보고서에 ICBMS+AI 기술의 응용분야를 소개하고 있음.

〈그림 3-11〉 4차 산업혁명과 Go의 시대

최신 정보통신 기술이 제공하는 서비스는 먼저 사물인터넷(IoT)으로 연결된 사물들의 정보인 데이터를 클라우드(Cloud)에 환경에 저장하고, 저장된 정보를 빅 데이터(Big Data) 분석 기술을 이용하여 해석하고, 새롭게 서비스를 생성하여 모바일(Mobile)에 새로운 서비스로 제공해 줌으로써 시너지를 얻는 것이 하나의 사례가 될 것이다. 이때 네트워크화 된 환경 때문에 보안과 관련된 취약점이나 약점이 고려되어야 안전한 서비스를 제공해 줄 수 있을 것이다. 이러한 정보통신기술의 관계는 〈그림 3-12〉와 같다.

〈그림 3-12〉 4차 산업혁명과 Go의 시대



이러한 진화하는 최신 기술과 공학이론 교육을 통해 업무담당자가 기술현황을 인지할 수 있도록 하고, 지속적으로 관련 내용이 과정 이수자에게 제공 되어 관심을 가질 수 있는 통로를 만들어야 한다.

다. 정보시스템 구축과 관련 법령·국방정보화 지침/표준 교육

정보시스템 구축을 위해서는 관련된 많은 법령, 지침, 정부·산업계 표준이 있다. 또한 국방 분야에 필요한 국방정보화 법령과 지침이 따로 있어 이에 대한 교육이 필요하다. 정보화사업 추진을 위한 관련 법(법령), 제도와 지침을 살펴보면 〈표 3-8〉과 같다.

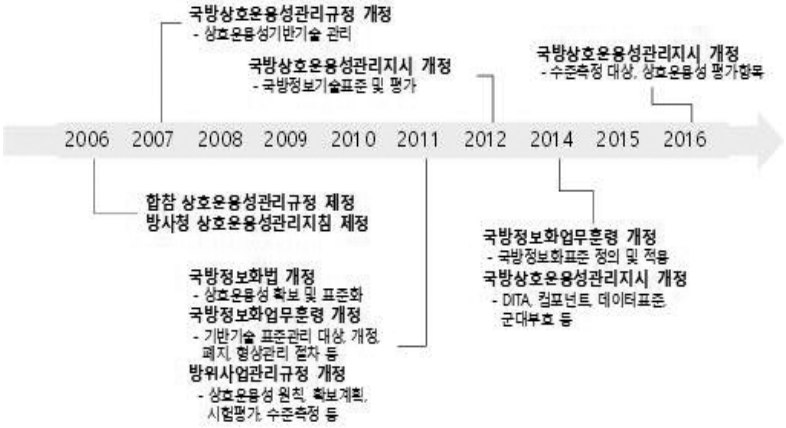
이러한 법령과 지침을 모르고 정보시스템을 구축할 경우 관련 법령의 위배와 유지보수 등 다른 여러 위험 요소를 유발할 수 있다. 예를 들면 정보시스템을 구축할 때 암호화를 반드시 해야 할 요소를 규정하는 법령에 따라 주민번호, 통장번호, 비밀번호, 외국인 등록번호 등을 암호화해야 하는데 담당공무원이 더 많은 것을 암호화하거나 기본적으로 준수할 것들을 하지 않는다면 문제를 야기할 것이다.

〈표 3-8〉 정보화사업 추진을 위한 관련 법/제도

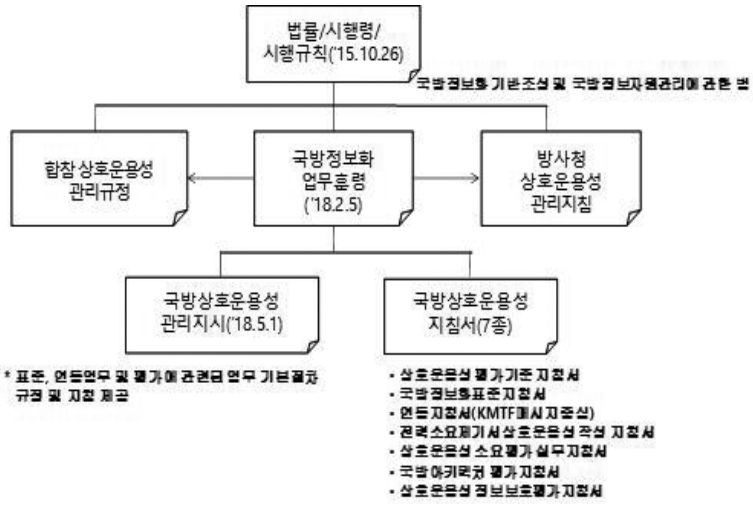
구 분	법 / 제도
일반 분야	국가정보화기본법, 전자정부법(시행령), 소프트웨어산업진흥법, 개인정보보법, 정보통신망법, 중앙정부기관 전자정부사업 사전협의지침, 정보시스템구축·운영지침, 공공기관의 데이터베이스 품질관리지침, 전자정부서비스 호환성준수지침, 소프트웨어사업대가산정 가이드, 소프트웨어 기술성평가기준, 한국형 웹 콘텐츠 접근성 지침, 모바일 애플리케이션 전근성 지침, 정보시스템 운영성과지침, 정보기술아키텍처 도입운영지침, 전자정부사업관리 위탁에 관한 규정, 소프트웨어 사업관리감독에 관한 일반기준, 공공데이터관리지침, 공공기관의 데이터베이스 표준화 지침, 행정기관을 위한 정보화사업 단계별 관리점검 가이드
국방 분야	방위사업법(시행령), 국방전력업무훈령, 국방정보화업무훈령, 국방정보시스템 유지보수전담기관운영지침, 국방 개인정보보보훈령, 국방 상호운용성 관리 지시, 국방아키텍처프레임워크, 국방CBD개발방법론

정보시스템과 관련된 법령과 지침이 방대하고, 상호 연관되어 있어 체계적인 교육이 필요하다. 국방분야 국방정보화 규정과 상호운영성과 관련된 경우를 보더라도 <그림 3-13>과 <그림 3-14>과 같이 복잡한 관계를 갖는다.

<그림 3-13> 국방정보화 규정 경과



<그림 3-14> 국방 상호운용성 관련 법령과 지침 관계



또한, 정보시스템은 표준화 된 기술적용이 필요한데 이를 위해 국방정보화 표준이 있다. 국방정보화표준이란 정보기술, 소프트웨어, 데이터를 대상으로 상호운용성 보장이 필요한 공통요소들을 의미하며, <그림 3-15>와 같이 국방정보기술표준, 공통컴포넌트, 표준데이터 3가지로 분류할 수 있다.

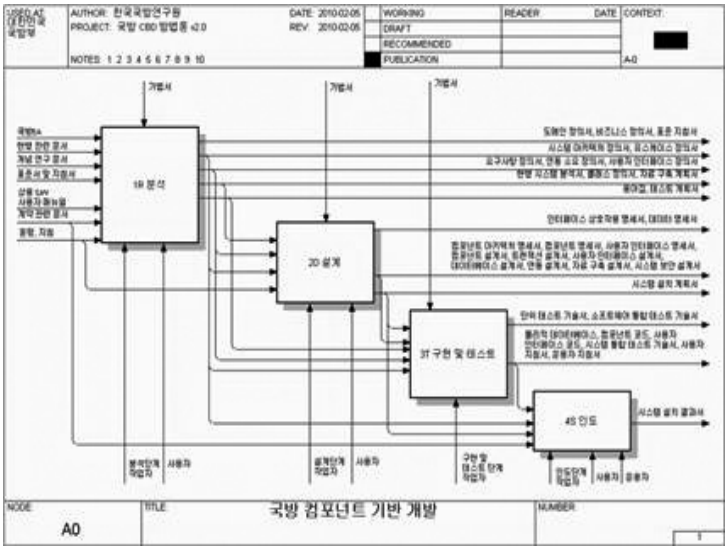
〈그림 3-15〉 국방정보화 표준

국방정보기술표준(DITA: Defense Information Technology Standard)은 정보체계를 개발할 때 상호운용성 확보를 위해서 적용해야하는 최소한의 표준이며, 체계 개발 시 적용해야 하는 강제성을 지니고 있다. 국방공통컴포넌트는 국방 CBD(Component Based Development) 개발 방법론에 따라 어떤 기능을 수행할 수 있는 단위 소프트웨어를 개발하는 것으로 국방정보기술표준과는 다르게 소프트웨어 모듈이다. 표준데이터는 세부적으로 메타데이터와 군대부호, 표준부대코드, 메시지 표준으로 구분 할 수 있는데, 정보체계에서 유통되는 데이터이다. 그 중 메타데이터는 정보체계를 개발하고, 데이터베이스를 설계하고 구축할 때 사용하는 데이터의 데이터 이다. 부대코드는 국방정보시스템 간에 부대 및 부서를 식별하기 위해 사용하는 10자리 코드이고, 군대부호는 군의 편성, 장비, 시설 등을 식별 할 수 있도록 그림으로 표현한 군대부호이다.

이외에도 국방 표준 아키텍처를 만들기 위한 국방 아키텍처 프레임워크 (MND-AF)를 관리하는 〈그림 3-16〉과 같은 국방아키텍처 관리체계와 국방 컴포넌트를 만들기 위한 〈그림 3-17〉과 같은 국방 CBD 개발방법론 등 다양한 관련 국방 기술표준들이 존재한다.

〈그림 3-16〉 국방 아키텍처 관리체계

〈그림 3-17〉 국방 CBD 개발방법론 2.0



2. 교육 프로그램 교과목 설계

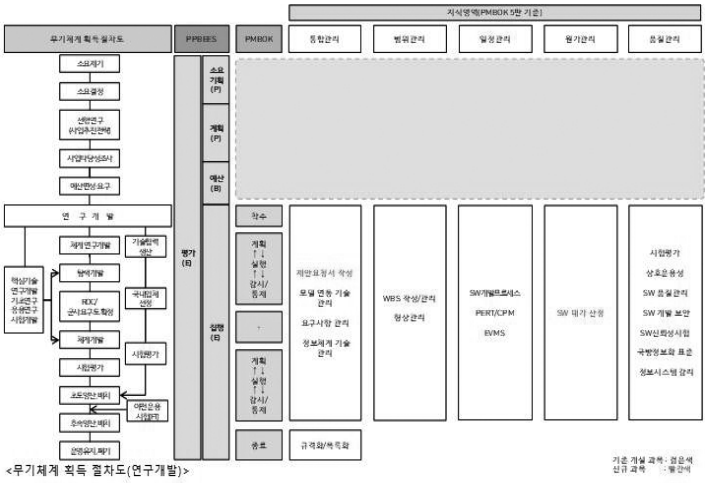
국방 정보시스템 사업관리 교육프로그램은 3가지 설계 방향인 국방정보시스템 획득절차에 따른 사업관리 표준 기반 지식영역별 교육, IT 프로젝트의 특성을 고려한 기본 이론/최신 ICT 기술 교육과 정보시스템 구축과 관련 법령·국방정보화 지침/표준 교육을 위한 교과목으로 편성하였다.

먼저 사업관리 표준은 국내·외 여러 종류의 사업관리 표준이 있지만, 이중 국내에서 가장 많이 교육되고 있는 PM-BOK의 10가지 사업관리 영역(제5판 기준)을 기준으로 한다. 제6판의 경우 추가된 에자일(Agile) 방법론을 수용하고 있지만, 국방 획득 연구개발에서는 아직 적용되지 않는 개발방법론으로 제5판의 지식영역을 기준으로 교과목을 편성한다. 둘째 이론과 최신 ICT교육은 사업관리 지식영역에 IT영역을 추가하여 관련 과목을 제시한다. 마지막으로 관련 법령·국방정보화 지침/표준 교육도 교과목을 편성하여 교육할 수 있도록 하였다.

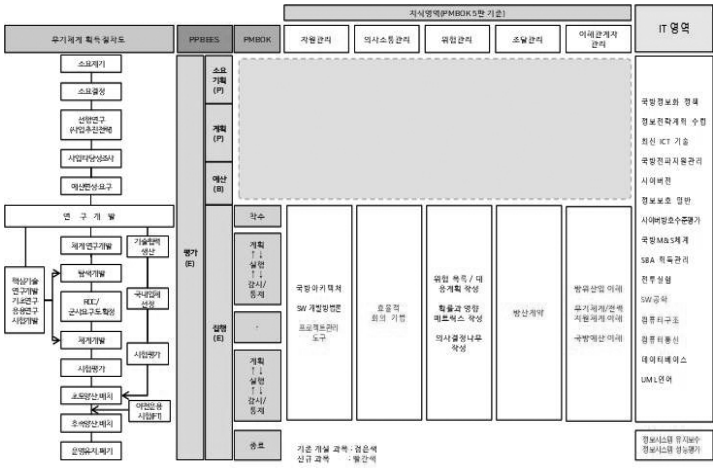
국방 정보시스템 사업관리 교육프로그램 세부교과목 편성은 〈그림 3-18〉과 〈그림 3-19〉와 같이 사업관리 지식영역과 IT영역으로 구분하고, 46개 교과목을 제시하였다. 무기체계 연구개발절차와 기획관리체계(PPBEES)에 따라 교과목을 제시하였다. 사업관리 지식영역은 통합관리, 비용, 일정 등 10개의 세부영역으로 구분된다. 사업관리 지식영역의 특성상 기획단계와 예산편성이후 실질적인 프로젝트 관리가 시작되는 연구개발 단계에 필요한 교과목이다. 이전단계는 개념모델을 발전시키는 선행연구 단계로 SE(System Engineering) 등의 공학적 개념이 적용될 수 있다.

특징적인 과목들은 IT에 이론이 되는 소프트웨어공학, 컴퓨터구조, 컴퓨터통신 과목이 추가적으로 제시되었으며, 운영유지 단계에서 성능개량과 폐기를 판단할 수 있는 기준을 교육하는 정보시스템 유지보수와 정보시스템 성능평가 과목도 추가되었다. 정보시스템 유지보수에 따른 재소요 시기를 판단할 수 있는 소요군 인원을 위한 교육이다.

〈그림 3-18〉 정보체계사업관리 과정 교과목 편성(1)

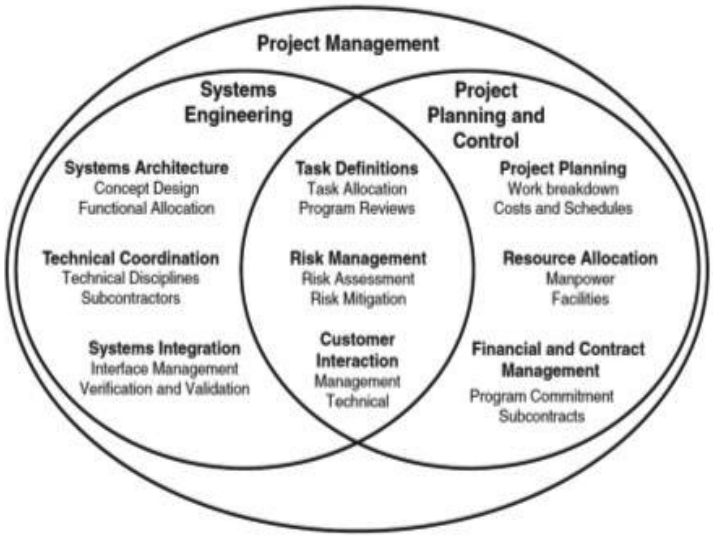


〈그림 3-19〉 정보체계사업관리 과정 교과목 편성(2)



그리고 무기체계 획득절차에서 소요제기부터 예산요구까지의 단계인 선행연구 단계에서는 SE(System Engineering)가 교육되어 져야 한다. 개념모델을 말들 수 있는 SE는 선행연구단계에서 교육이 되어져야하는 교과목으로 SE(System Engineering)와 PM(Project Management)의 관계는 〈그림 3-20〉과 같다.

〈그림 3-20〉 사업관리에서의 SE와 PM의 관계



3. IT 공학 이론과 최신기술 교육

국방분야 정보시스템 구축에서 자주 언급되는 문제는 기술 진부화이다. 소요제기 당시의 특정기술이나 시스템이 시간의 경과에 따라 기술성과의 한계가 나타나는 것을 말하며, 특히 정보통신기술은 정보통신 산업의 빠른 발전과 함께 우리의 무기체계 획득 체계에도 많은 변화를 요구하고 있다.

정보통신체계 구축에 있어서 정보통신기술(IT)은 가장 중요한 핵심요소로서 인식되어 왔으며, 적용된 정보통신 기술의 수준은 바로 정보통신체계의 능력으로 이어져 온 것이 현실이다. 그러나 현재 무기체계 획득절차는 소요제기 후 전력화까지 장기간이 소요된다. 그리고 획득기간 중 계속적으로 신기술은 등장과 기술을 이해하기 위한 기초적인 정보통신 공학기술과 최신기술을 주기적으로 교육해야 한다.

Ⅴ. 결 론

국내·외 안보환경 변화에 따른 국방획득 여건 변화, 그에 따라 예상되는 방위산업의 위기 등 내·외부 환경변화는 효율적인 국방 획득사업 추진을 강조하고 있으며 이러한 획득사업 추진에 최적화된 전문 인력이 필요하다. 전문 인력은 교육을 통해 양성할 수 있으며, 국방획득 분야에서 직무교육을 담당하고 있는 국방대학교 직무연수원은 국방사업관리사의 국가 자격화 시행과 연계하여 교육과정을 발전시킬 수 있다.

현재의 국방 획득 환경에서 요구되는 전문인력은 과거 단순한 획득 업무지식이 아니라 다양한 환경에 적응할 수 있는 업무탄력성이 뛰어난 인력을 요구하고 있다. 요구되는 인재는 4차 산업혁명에 따른 다양한 정보통신기술(IT) 지식과 인공지능 기술에 대한 지식, 기술 발전에 따른 기술을 습득할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 이를 위해 국방사업관리 분야 직무종사자의 전문성을 향상할 수 있는 국방정보체계 사업관리 교육과정을 살펴보고, 교과목을 재설계 하였다.

국방정보체계 사업관리 교과목 설계는 국방 획득 환경에서 직면한 다양한 책임과 도전들에 대한 문제해결 능력을 향상할 수 있는 교육과목으로 구성하여야 한다. 국방정보시스템 교육프로그램 설계 방향은 첫째, 국방정보시스템 획득절차에 따라 사업관리 표준 기반 지식영역별 교육하고, 둘째, IT 프로젝트의 특성을 고려한 기본 이론

과 최신 ICT 기술을 교육하며, 마지막으로 정보시스템 구축과 관련 법령·국방정보화 지침/표준 교육을 내용으로 하는 교과목을 편성하여야 한다.

또한 장기적인 교육 발전을 위해 교육과정과 국방사업관리사 자격증을 연계한 보직자격제도 시행과 국방획득교육 전문기관 설립 방안을 추진하여 국방 분야에 필요한 인재를 양성하는 교육 방안을 제시하였다. 이렇게 국방 사업관리 인력의 전문성이 향상되면, 발생되는 문제들이 점차 줄어들 것이고, 이는 나아가 국가 경쟁력 향상으로 이어질 것이다.

[요약]

한반도에 평화 공존기가 도래함에 따른 무기체계의 소요 변화, 정보통신기술(IT) 발전과 함께 하는 4차 산업혁명 시대 도래, 이에 따른 국방개혁 2.0 추진과 기술진화 속에서 효율적인 무기체계 획득 방안 마련은 대한민국의 국방 분야에 당면한 과제이다. 이러한 국가 안보환경과 국방 획득환경의 변화는 국방획득에 대한 외부의 다양한 요구사항과 이를 위한 국방정책에 부합하는 직무탄력성을 가진 국방획득 전문 인력을 요구하고 있다.

현재의 환경은 과거의 단순한 업무지식이 아니라 다양한 환경에 적응할 수 있는 인재를 요구하고 있다. 또한 요구되는 인재는 4차 산업혁명에 따른 다양한 정보통신기술(IT) 지식과 인공지능 기술에 대한 지식, 기술 발전에 따른 기술을 습득할 수 있는 능력도 요구된다. 국방부는 이러한 능력을 가진 국방사업관리 인재를 양성하기 위한 보수교육으로 국방사업관리사 교육을 실시하고 있다. 본 연구는 교육의 목적에 부합하는 인재 양성을 위해 기존 정보체계 교육과목에 대해 검토하여 개선하고자 한다.

현재의 국방 정보체계 사업관리과정 교과목 편성은 8개 과정 125개 과목으로 편성되어 있다. 전반적으로 법령, 규정과 사업관리에 필요한 다양한 지식들을 교육과정으로 선정하여 교육하고 있으며, 국방정보체계 사업관리 교육과정은 총 8개 과정으로 기본과정과 전문과정이 있다. 교과목은 일부 행정과 교양과목을 제외하면 102개 과목으로 구성되어 있다.

이러한 과목들은 국방 획득 환경에서 직면한 다양한 책임과 도전들에 대한 심층 분석과 토론, 사례 실습을 통해 문제해결 능력을 향상할 수 있는 교육과목으로 구성되어야 한다. 이를 달성하기 위해 국방정보시스템 교육프로그램 설계 방향을 첫째, 국방정보시스템 획득절차에 따라 사업관리 표준 기반 지식영역별 교육, 둘째, IT 프로젝트의

특성을 고려한 기본 이론 최신 ICT 기술 교육과 마지막으로 정보시스템 구축과 관련 법령 국방정보화 지침/표준 교육을 내용으로 하는 교과목으로 편성할 필요가 있다.

또한 장기적인 교육 발전을 위해 교육과정과 자격증을 연계한 보직자격제도 시행과 국방획득교육 전문기관 설립 등과 같은 발전 방안을 추진하여 국방 분야에 필요한 인재를 양성하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 법률, 방위사업법(제14610호), 2017.03.01.
2. 대통령령, 방위사업법 시행규칙(제28339), 2017.09.02.
3. 대통령령, 국방대학교 설치법 시행령(제28266호), 제5조 직무연수부, 2017.9.5.
4. 국방부, 국방전력발전업무훈령(2114호), 2017.12.29.
5. 국방부, 방위사업법 시행규칙(제935호), 2017.09.22.
6. 방위사업청, 국방과학기술진흥 실행계획(2015-2029), 2015.
7. 행정안전부 고시(2018-21), 행정기관 및 공공기관 정보시스템 구축·운영지침, 2018.
8. 국방대학교, 직무과정 교육운영에 관한예규(직무-예01), 2017.
9. 국방대학교, 2018년 직무교육과정 기본교육계획, 2018.
10. 국방대학교, “국방 인재개발을 위한 직무교육 발전방안” 세미나 발표자료집, 2018.
11. 국방기술품질원, 2011-2015 세계 국방지상로봇 획득동향
12. 강동수, ICBMS+AI 기술을 이용한 국가안보 발전방향 연구, 군사과학 정책연구(RINSA), (2017)
13. 강동수, "국방경영, 인공지능기술의 가치와 미래," 국방대학교 인공지능과 국방경영 학술 세미나 발표 자료집, 국방컨벤션, 2017.
14. 김미진, “전술정보통신체계 진화적 개발 추진전략에 관한 연구”, 고려대학교, 석사학위논문, 2014.
15. 광운대학교, 전장관리정보체계 사업관리절차 연구, 방위사업청 정책연구, 2009.
16. 서울대학교, 획득인력 전문성 향상을 위한 보직관리제도 연구, 방사청 정책연구, 2011.
17. 안보경영연구원, 주요 선진국의 획득제도 사례분석을 통한 시사점 연구, 방위사업청 정책연구, 2017.
18. 한국행정학회, 관리자 교육 프로그램 진단 및 개선방안 연구, 국가공무원인재개발원 정책연구, 2017.
19. 한국투명성기국, 국방선진국의 획득업무 환경변화에 따른 반부패제도 연구, 방위사업청 정책연구, 2015.
20. 한국산업관계연구원, 방위사업 전문교육기관 설립방안 연구, 방사청 정책연구,

2014.
21. KT경제경영연구소, 2016 한국을 바꾸는 10가지 ICT트렌드, 2016.
22. PMI, PMBOK(Project Management Body of Knowledge) 5th Edition, 2013.
23. PMI, PMBOK(Project Management Body of Knowledge) 6th Edition, 2017.

분석평가 업무의 전문성 및 객관성 향상방안

| 국방대학교 김 수 환

I. 서 론
II. 분석평가 업무의 범위
III. 분석평가 방법론
IV. 국내 외 분석평가 교육기관 현황
V. 분석평가 업무의 전문성 향상방향
VI. 결론

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

가. 연구 배경

국방부는 “전방위적 위협에 대응할 수 있는 강한 군대, 국민에게 신뢰받는 국민의 군대로 거듭난다.”는 비전과 목표를 가지고 국방개혁2.0을 강력하게 추진하고 있다. 국방개혁2.0은「북핵억제 및 대응능력 확보」,「새로운 작전수행개념 구현을 위한 군 구조 개편」,「국방운영의 효율성 및 투명성 극대화」,「비리 근절예방 및 방위사업 개선」,「국민의 눈높이에 맞는 병영문화 개선」등을 목표로 추진되고 있으며 국방개혁2.0이 요구하는 군의 슬림화 및 효율화를 위해 제대별 조직 편성의 최적화 소요가 증대될 것이며, 미래 무기체계, 군 구조개편, 작전계획 발전, 주요 정책수립 등 분석평가

에 의한 과학적 검증 요구가 증대될 것이다. 또한 정보통신기술(ICT: Information & Communication Technology)의 급격한 발전으로 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등과의 상호 연결성이 극대화 되는 4차 산업혁명의 도래와 함께 미래 환경변화에 대처할 수 있는 정책 및 제도, 기반체계 구축을 위한 새로운 개념의 분석평가 기술개발 및 분석임무를 수행하는 분석전문가 양성이 필요한 시점이다.

분석평가(分析評價)의 한자 의미를 해석하면 어떤 대상을 "나누고 구분하여 그 가치를 헤아리고 평하는 것"이며, 분석평가는 사업을 기획, 계획, 예산편성 및 집행함에 있어 사업 목표의 달성과 자원의 합리적 배분 및 효율적 사용을 보장하기 위한 전문적 과학적 분석활동이다. 이러한 분석평가는 정책결정과정에서 과학적이고 객관적인 자료를 제공함으로써 의사결정권자의 결심을 보좌하는 핵심적인 기능을 수행한다. 국방부나 각 군, 전문연구기관 등에서 분석평가 업무가 활발하게 이루어지고 있으나 분석평가 업무를 효율적으로 수행하기에는 조직과 인력이 미약하고, 분석평가 자료공유체계가 미흡하여 과학적 업무수행에 어려움이 있으며, 분석평가 업무 종사자들의 전문성 향상을 위한 노력도 미비한 실정이다.

우리 군은 국방기획관리제도(PPBEES: Planning, Programming, Budgeting, Execution, and Evaluation System)하에 선진국형 분석평가체계의 모습을 갖추기 위해서 국방대학교 직무교육원, 방위사업청 방위사업교육센터, 국방과학연구소 국방과학기술아카데미, 한국방위산업진흥회 방위산업교육센터 등과 같은 다양한 교육기관에서 분석평가 관련 과목을 개설하여 운용하고 있다. 하지만 각 교육기관들은 나름의 교육 목표와 교육 철학을 가지고 전문인력을 양성하고 있기 때문에 교육의 중심을 분석평가에 한정하고 보면 통일되고 체계적인 교육은 부족하다고 할 수 있다.

나. 연구 목적

본 연구의 목적은 분석평가 업무의 전문성 및 객관성을 향상시키기 위한 방안을 제시하는 것이며, 이를 위해서 분석평가 관련 교육체계의 방향을 제시하는 것이다. 국방 분석평가 관련 각 기관의 분석평가 업무를 분석하여 분석평가에 필요한 방법론을 도출하고, 국내 외 분석평가 관련 교육기관에서 강의 중인 분석평가 과목들을 고찰하고 미래 분석평가 환경에 부합되는 분석평가 전문인력 양성을 위해서 필요한 과정 및 과목들을 도출한다.

2. 연구 범위 및 방법

가. 연구 범위

본 연구의 목적달성을 위해서 필요한 연구범위는 다음과 같다.

(1) 분석평가 기관별 임무를 분석하고, 합동참모본부 및 각 군의 분석평가 부서의 주요 분석 업무가 무엇인지를 파악한다.

(2) 각 기관별 분석평가 업무를 수행하기 위해서 현재 사용하고 있는 분석평가 방법론을 소개한다.

(3) 국내 및 미국의 분석평가 교육기관을 소개하고 해당 교육기관에서 운영하고 있는 분석평가 관련 과목을 분석한다.

(4) 마지막으로 변화하는 국방환경에 부응하기 위한 분석평가 전문가를 양성하는 방안을 제시한다.

나. 연구 방법

(1) 분석평가 관련 법규 및 규정 조사

(가) 국방전력발전업무훈련

(나) 국방기획관리기본규정

(다) 합동참모본부 분석평가업무규정

(라) 방위사업청 분석평가 업무 실무지침서

(마) 각 군 분석평가 업무규정

(2) 국내 및 미국의 분석평가 교육기관 조사

(가) 국방대학교 직무교육원

(나) 방위사업청 방위사업교육센터

(다) 국방과학연구소 국방과학기술아카데미

(라) 한국방위산업진흥학회 방위산업교육센터

(마) 미국 DAU(Defense Acquisition University)

(3) 국내 외 관련 문헌 연구 : 「참고문헌」참조

II. 분석평가 업무의 범위

1. 분석평가 부서 및 기관별 임무

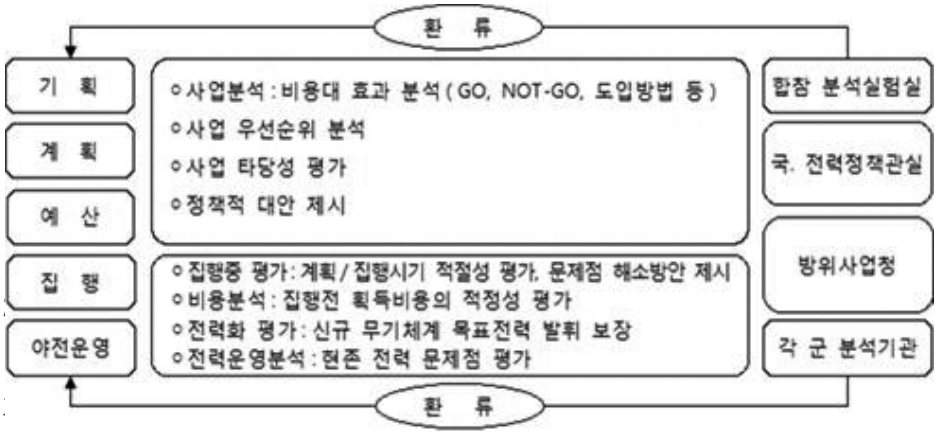
우리 군은 국방부 훈령 제2048호와 국방기획관리규정 제28조에 국방부를 비롯하여 예하 분석평가 기관을 선정하고 임무를 명시하고 있다. 분석평가 기관과 각 기관별 주요 분석평가 임무는 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 분석평가 기관 및 임무

기 관		임 무
국방부	기획관리관실	• 전력운영분야 중요사업, 장관지시 사업, 의뢰사업
	계획예산관실	• 신규사업 사전타당성 검토, 계속사업 심층평가 • 전력운영사업의 총사업비 관리, 사전타당성 검토 및 심층평가
	전력정책관실	• 방위력개선사업분야 장관 지시사항과 자체 선정한 과제 • 합참 소요기획단계 분석평가 결과와 방위사업청 분석평가 결과에 대한 검증 (자체 또는 용역)
합참 분석실험실		• 소요기획단계 분석평가, 운영중인 무기체계 전력운영분석
각군 및 기관		• 초도생산 후 배치된 무기체계에 대한 전력화 평가 (1년 이내)
방위사업청		• 획득단계 분석평가
국방연구원 (KIDA)		• 국방정책, 군사전략, 군사력 소요 및 무기체계 획득에 대한 평가, 가격정보 및 비용분석
국방과학연구소		• 각종 장비의 기술, 성능시험 평가업무 지원
국방기술품질원		• 국방과학기술 조사 분석, 방위력개선사업에 대한 조사 분석 평가업무 지원

현재 우리 군의 분석평가 체계는 국방기획관리체계와 연계하여 각 분석평가 기관이 분석평가결과를 제공하고 매 단계별 평가를 거쳐 문제점이 발견되면 지속 보완 발전하는 방향으로 분석평가가 이루어지고 있다. 이를 도식하면 <그림 4-1>과 같이 요약할 수 있다.

〈그림 4-1〉 분석평가 업무수행체계



국방부 전력정책관실은 분석평가의 최상위 기관이며, 전력정책관실의 전력조정평가과가 분석평가 업무를 관장한다. 전력조정평가과의 주요 임무는 분석평가 및 비용분석에 관한 정책과 계획의 수립 및 제도발전, 분석평가 및 비용분석에 관한 업무 조정, 방위사업청의 분석평가 결과에 대한 재분석평가 및 시정조치 요구 등이다.

나. 합동참모본부

합동참모본부(이하 합참)의 분석평가 업무는 주로 합참 분석실험실에 실시하며 합참의 분석평가업무규정(합참규정-452-1)에 명시된 분석평가 업무는 전력소요분석과 전력운영분석이다. 합참의 분석평가 업무의 중점사항은 <표 4-2>와 같다.

〈표 4-2〉 합참의 분석업무별 분석평가 중점

구 분	중 점
전력소요 분석	• 사업의 필요성 • 편성 및 운영개념의 타당성 • 소요기준 및 소요량의 적정성 • 작전운용성능의 적합성 • 전력화지원요소의 적절성 • 비투자 개선방안(필요시) • 작전효과분석(필요시 비용대 효과분석)
전력운용 분석	• 최초 소요제기부터 전력화까지의 소요 변동실태 • 확정요구성능 및 전력화 이후 성능 • 운용개념 대비 작전운용 실태 • 부대구조, 편제, 편성대비 인력확보 및 운용실태 • 탄약확보 및 운용실태 • 교관, 교범 교보재 등 교육훈련체계 운용실태 • 수리부속 보급체계 확보현황 및 조달계획 • 정비교육 및 정비지원체계 운용실태 • 전력발휘에 필요한 각종 지원요소 확보실태

다. 육군

육군의 분석평가 업무는 분석평가단에서 실시하며 분석평가규정(육규 061)에 명시되어 있는 주요 분석평가 업무는 전력화 평가, 야전운용시험, 전력운영분석, 전력운영분야 사업분석, 경영진단 및 특정과제 분석, 비용 분석, 모의 분석, 군 구조 분석 등이며, 각 업무별 주요 내용은 다음 <표 4-3>과 같다.

〈표 4-3〉 육군의 분석업무별 분석평가 중점

구 분	중 점
전력화 평가	• 주장비의 야전운용 적합성 • 부대의 요망임무수행 능력 • 교리, 편성, 운용개념의 적합성 • 교육훈련 여건 및 훈련체계 구비 여부 • 종합군수지원요소 적절성 등 • 그 밖의 개선보완이 요구되는 사업

구 분	중 점
야전 운용 시험	• 무기체계 야전운용성능의 적합성 • 부대 전투수행능력 중 무기체계 전술단위 임무수행능력의 적합성 • 전력화지원요소 확보의 적정성 • 시험평가결과 보완요구사항의 반영여부 등
전력운영 분석	• 운영개념 대비 야전운용 실태 • 전력발휘면에서 문제점 • 주요 문제점에 대한 개선 및 보완방안
전력운영 분야 사업분석	• 사업의 추진의 필요성 • 사업 추진 상 예상되는 문제점 및 해결방안 • 육군 차원에서 가용자원의 최적 활용 방안 • 계획 및 예산단계 문서상의 수정, 보완 및 추가 필요성 • 사업과 관련된 제 지원요소
경영진단 및 특정과제 분석	• 특정사업 및 조직, 업무수행체계, 재무 및 회계 등 전 분야의 현 시스템 종합 진단, 생산성, 직무분석, 성과측정 등 주요 문제점 식별 • 식별된 문제점에 대한 개선 및 보완방향 • 전력운영분석간 정책, 제도, 교리 등의 검토 및 개선방향 • 예산 낭비요인 및 비효율적 요소의 분석평가
비용 분석	• 방위력 개선사업 : 창 정비 방침 결정과 관련한 계획단계의 비용분석은 창 정비 필요성과 창 정비 방안별 경제성 분석을 통해 최적의 창 정비 방안 제시 • 전력운영사업의 비용분석 : 계획단계로부터 집행단계까지의 사업에 대하여 적정 비용산정 제시
모의 분석	• 국방개혁 육군 기본계획 검증 : 목표 년도의 부대 및 전략구조 설계의 강·약점을 평가하여 축선별, 제대별, 무기체계별 완전성과 균형성 분석자료 제시 • 육군 전력증강 논리 및 근거자료 제시 • 작전계획 및 작전지원계획 분석
군 구조 분석	• 부대구조 편성안 검증 및 분석 • 분석용 워게임 모델 운용 및 DB 관리 통제
기타	• 전시자원소요 기준연구 업무 • M&S 관리 및 운영 • 통계 • 지식재산권 관리

라. 해군

해군의 분석평가 업무는 전력분석시험평가단에서 실시하며 육군과 달리 해군의 분석평가규정(11-2-3-규03)은 분석평가 업무별로 구분하지 않고 각 단계별 분석평가 업무의 중점에 대해서 기술하였다. 전력운영사업의 분석평가체계는 계획단계 분석평가, 예산편성단계 분석평가, 집행단계 분석평가로 구분하였고, 방위력개선사업의 분석평가체계는 소요기획단계 분석평가, 획득단계(계획 예산편성 집행) 분석평가, 운영유지단계(전력화 평가 전력운영 분석) 분석평가로 구분하여 각 단계별 분석평가 중점을 기술하고 있다. 방위력개선사업의 각 단계별 분석평가 중점은 〈표 4-4〉와 같다.

〈표 4-4〉 해군의 분석평가 단계별 분석평가 중점

구 분		중 점
소요기획단계 분석평가		• 사업의 필요성 • 편성 및 운용 개념의 타당성 • 전력화 시기 및 방법의 적절성 • 소요기준 및 소요량의 타당성 • 작전운용 성능 설정의 적절성 • 전력화 지원요소 적절성 • 부대소요 시기, 소요 병력 및 기타 참고사항 • 비 투자 개선방안 분석 • 비용분석 및 비용대 효과분석
획득단계 분석평가	계획단계	• 사업의 필요성 • 편성 및 운용계획 적절성 • 전력화시기 및 소요량 적절성 • 작전운용성능 적합성 타당성 • 전력화 지원요소 적절성 • 부대계획의 합리성 적절성 • 비용대 효과분석 • 계획예산의 타당성, 적시성 • 목표비용 및 비용통제 방안
	예산단계	• 사업의 필요성, 소요, 제원·성능, 획득방법, 운영유지 및 기타 요소 등 • 요구예산의 타당성 • 사업계획의 타당성 • 목표비용 및 비용통제 방안

구 분		중 점
획득 단계 분석 평가	집행 단계	• 사업목표 달성 정도 및 사업 추진의 직·간접 효과 • 사업 추진 과정의 효율성 • 재원 사용의 경제성 • 사업 관련 제 지원요소의 적시성 및 적합성 • 절충교역의 적절성 및 사후관리 여부
운영유지단계 분석평가 (전력화 평가)		• 무기체계 및 부대의 야전운용 적합성 • 부대의 요망 임무 수행 능력 • 교리, 편성 및 운용개념의 적합성 • 교육훈련 여건 및 훈련체계 구비 여부 • 종합군수지원 요소 적절성 • 표준화 규격화 적절성 • 성능개량 소요 • 운영유지비용 절감 방안 • 야전운용시험결과 후속조치사항 조치결과 • 후속 양산 및 후속 구매를 위해 보완해야 할 사항 • 차기 사업계획 수립 시 적용할 교훈

마. 공군

공군의 분석평가 업무는 연구분석평가단에서 실시하며 공군의 분석평가 및 야전운용시험 업무규정(공규 12-6)에는 분석평가와 야전운용시험을 구분하였지만, 육군 및 해군이 야전운용시험을 모두 분석평가 업무로 분류하였기 때문에 공군의 분석평가에도 야전운용시험을 포함하여 기술하였다. 따라서 공군의 분석평가 업무는 방위력 개선사업 전력화 평가, 전력운영사업 분석평가, 비용분석, 야전운용시험으로 구분되며 세부 내용은 <표 4-5>와 같다.

3. 소결론

합참 및 각 군의 분석평가 업무는 사업의 필요성 및 타당성 분석, 소요의 적정성 확인, 작전운용성능 설정의 적절성 판단, 작전계획 분석, 개발 및 운용시험평가결과 분석, 부대 또는 기관의 조직 구조 진단, 적절한 예산 판단 및 비용절감 방안 도출, 무기

체계 효과분석, 종합군수지원요소 적절성 분석 등 다양한 업무를 수행하고 있으며 거의 모든 업무가 정량적 의사결정 기준을 요구하기 때문에 전문적이고 과학적인 분석 방법 사용이 필수적이다.

〈표 4-5〉 공군의 분석평가 업무별 분석평가 중점

구 분		중 점
방위력개선사업 전력화 평가		• 무기체계 및 부대의 야전운용적합성 • 부대의 요망임무 수행능력 • 교리, 편성 및 운영개념의 적합성 • 교육훈련여건 및 훈련체계 구비 여부 • 종합군수지원요소 적절성 • 표준화 규격화 적절성 • 운영유지비용 절감방안 • 운용시험평가 및 야전운용시험 결과 후속조치사항 조치결과 • 후속양산 또는 후속구매를 위해 보완해야할 사항 • 성능개량소요 및 차기 전력소요 제기시 적용할 교훈
전력운영사업 분석평가	계획 단계	• 사업의 필요성 • 사업계획 타당성 • 사업 예산의 적절성 • 비용대 효과분석(필요시)
	예산 단계	• 각급 부대(서)가 제출한 예산요구서상의 주요 전력운영사업에 대한 적정성 및 타당성 분석
	집행 단계	• 사업추진의 필요성 • 예산집행 적절성 • 사업방법의 적절성 • 계획대비 사업 추진성과

III. 분석평가 방법론

합참 및 각 군의 분석평가 업무에는 전문적이고 과학적인 방법을 사용하여야 하며, 현재에도 각 분석 업무의 특정을 고려하여 다양한 방법을 이용해 분석 업무를 하고 있다. 예를 들어, 사업의 타당성 분석을 위해서는 비용대 효과분석이나 M&S 방법

을 사용할 수 있으며, 경영진단시에는 SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, and Threat) 분석, 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis) 기법 등을 사용할 수 있을 것이다. 따라서 이번 장에서는 분석평가 간에 사용되는 다양한 분석평가 기법들을 소개한다.

1. 문제의 구조화 기법

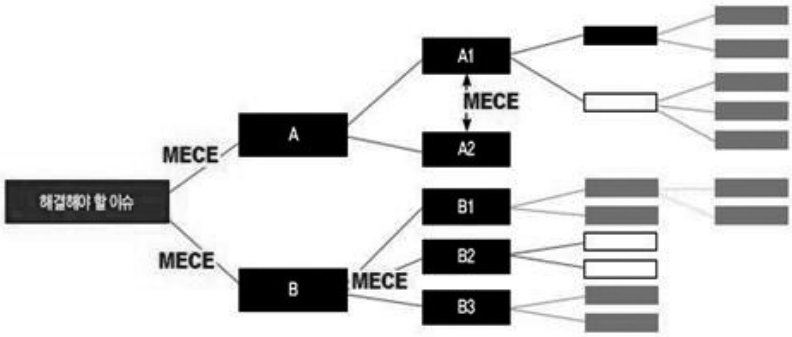
가. Logic Tree 기법

분석평가의 한자 의미는 "알고자 하는 대상을 나누고 구분하여 그 가치를 헤아리고 평하는 것"이었다. 그러면 알고자 하는 대상을 "어떻게 나눌 것인가?" 하는 문제가 대두된다. 여기에 사용될 수 있는 기법이 Logic Tree 기법이다. Logic Tree 란 주요 과제의 원인이나 해결책을 상호배제와 전체포괄(MECE, Mutually Exclusive & Collectively Exhaustive)의 사고방식에 기초하여 트리모양으로 논리적으로 분해, 정리하는 방법을 말한다. <그림 4-2>는 Logic Tree의 개념을 나타내고 있다.

Logic Tree의 하위 Level이 많으면 많을수록 더 자세한 분석이 가능하겠지만 분석에 필요한 가용 시간과 정확도 등을 고려하여 적정한 수준의 Level을 정하는 것이 좋다. Logic Tree는 기본적으로 분석하고자 하는 대상을 MECE의 개념으로 분해하고 분해된 원소를 트리의 각 노드로 만드는 것이다. 트리를 만드는 기본 원칙은 다음과 같다.

▷트리의 각 레벨이 가능한 MECE인가?
▷트리의 오른편이 구체적인 원인과 해결책으로 되어 있는가?
▷원인과 해결책이 논리의 인과관계로 주요 과제와 연결되어 있는가?

〈그림 4-2〉 Logic Tree 구성 개념



Logic Tree기법의 장점으로는 누락이나 중복을 미연에 확인할 수 있으며, 원인이나 해결책을 구체적으로 찾아낼 수 있으며, 각 내용의 인과관계를 분명히 할 수 있으며, 이러한 방법론을 통해 사업 추진관련 예상되는 문제점 파악과 프로세스 상의 문제점 발생 요인을 도출할 수 있다는 것이다.

나. SWOT 분석

SWOT 분석은 내부 역량의 강점과 약점 그리고 외부 환경의 기회와 위협요인을 파악하고 SWOT 매트릭스를 작성하여 전략을 도출하는 기법이다. 즉, 강점은 살리고 약점은 제거시키며, 기회는 활용하고 위협은 억제하는 경영전략을 수립하는 것을 의미한다. 이 분석기법은 국방 조직의 경영진단 목적으로 자주 활용된다. 조직의 현 상태를 명확히 분석하고 조직의 문제점 및 전략방향의 도출을 통해 이에 맞도록 지원하는데 SWOT 분석의 목적이 있다. SWOT 매트릭스는 수집된 강점, 약점, 기회, 위협을 <표 4-6>과 같이 2 2 매트릭스로 나타낸 것이며, SWOT 분석의 절차는 다음과 같다.

〈표 4-6〉 SWOT 매트릭스

강점(Strength) -S1 : …… -S2 : …… -	약점(Weakness) -W1 : …… -W2 : …… -
기회(Opportunity) -O1 : …… -O2 : …… -	위협(Threat) -T1 : …… -T2 : …… -

▷1 단계 : 조직이 처해 있는 내 외부 환경을 분석하여 강점, 약점, 기회, 위협 요인이 될 수 있는 요인들을 파악한다.

▷2 단계 : 내부 환경 분석을 조직이 가지고 있는 강점과 약점으로 분류하고, 외부 환경 분석을 조직이 활용할 수 있는 기회와 위협으로 분류한다.

▷3 단계 : 분류된 각 요인들을 2 2 매트릭스로 정리한다.

▷4 단계 : SWOT 매트릭스를 토대로 적절한 전략을 수립한다.

SWOT 분석을 통해서 도출할 수 있는 전략은 크게 4가지이다. 첫째는 SO(Strength-Opportunity) 전략이며 이 전략은 기회를 조직의 강한 역량으로 선점하면서 시장을 확대해 나가는 전략이다. 둘째, ST(Strength-Threat) 전략으로 이는 상대적으로 많은 위협이 존재하지만, 그것을 극복할 수 있는 역량이 내부에 축적되어 있을 때, 기존에 경쟁하고 있던 시장에 더 깊숙이 침투함으로써 안정된 시장을 확보하고, 제품계열을 확충함으로써 위협요인에서 생겨날 수 있는 다양한 위험을 사전에 방지하는 전략이다. 세 번째는 WO(Weakness-Opportunity) 전략이며 시장상황이 조직에 유리하게 조성되어 있으나 이 기회를 활용할 만한 조직의 핵심역량이 부족할 때, 자사의 역량을 강화시키거나 단기간 내에 이 기회를 활용하기 위하여 전략적 제휴를 통해 시장기회를 포착하는 전략이다. 마지막으로 WT(Weakness-Threat) 전략으로 시장에 불리한 위협요인이 존재하지만 그것을 극복할 만한 역량이 자사에 존재하지 않은 경우, 조직의 남은 역량을 보유하고 있는 시장에 집중함으로써 명맥을 이어나가는 전략이다.

2. 다요소 의사결정 방법

대부분의 사업(연구개발, 무기체계 획득 등)은 다양한 요소들(예를 들어, 전차 획득시 기동성, 생존성, 화력, 지휘통제 능력, 상호 운용성 등)을 동시에 고려해야만 하는 의사결정 문제들이다. 이렇게 다양한 의사결정 요소들을 동시에 고려하는 의사결정을 다요소 의사결정이라고 하고, 대표적으로 Delphi[1](델파이), 계층분석과정(AHP: Analytic Hierarchy Process) 등이 있다.

1) Delphi의 어원은 예언의 신 "아폴로"의 신전에서 고대의 성현들이 모여 중요사항이나 예언에 관련된 토론을 벌였던 기록에서 유래되었다.

가. Delphi

1950년대에 미국의 Rand연구소에서 개발된 방법이다. 이 기법은 전문가들의 다양한 의견을 조정하여 하나의 집단 의견을 만드는 방법이며 전문가들을 대상으로 수 회에 걸쳐 설문을 진행하며 매 설문 후 결과를 전문가들에게 제공함으로써 개인의 의견과 집단의 의견차이를 인지할 수 있도록 해준다. 이러한 반복적인 설문을 통해서 통일된 집단 의견을 만들어 낸다. Delphi 방법의 절차를 요약하면 다음과 같다.

▷1 단계 : 문제설정 및 설문대상인 관련분야 전문가 집단을 구성한다.
▷2 단계 : 전문가 집단을 대상으로 설문을 받는다.
▷3 단계 : 설문 의견을 종합하여 전문가 집단의 최대값, 중간값, 최소값을 선정한다.
▷4 단계 : 3 단계의 결과값을 전문가 집단에 배포하여 재설문 및 설문 결과를 종합한다.
▷5 단계 : 전문가 집단의 의견이 일치되면 그만하고, 그렇지 않으면 3 단계로 가서 절차를 반복한다.

Delphi 기법은 전문가들의 다양한 의견수집이 가능하고, 편향된 토의에 쏟는 시간과 노력의 낭비를 줄일 수 있다는 장점은 있으나, 전문가 집단의 구성 자체가 어렵고, 집단의 의견을 무시하는 일부 전문가들이 있으면 집단의 통일된 의견을 얻기 어렵다는 단점이 있다.

Delphi 기법의 단점을 극복하기 위한 방법 중의 하나로 Shang 기법이 있다. 이 기법은 전문가의 최초 의견으로 최대값, 최소값을 요구하고 이를 근거로 집단전체의 최대값 평균(U), 최소값 평균(L)을 계산하고 중간값(M = (U+L)/2)을 다음 설문시 전문가들에게 제시한다. 설문을 받은 전문가는 자신의 의견이 중간값보다 "낮을 것인가?", "높을 것인가?"에 대한 답변만을 요구받으며 이를 근거로 집단 전체의 U, L, M 값을 재조정하면서 집단의 의견을 수렴해 나간다. 즉, 설문 결과 M보다 높다는 의견의 많으면 L을 M으로 상향 재조정하여 새로운 M값을 계산한다. 반대로 M보다 낮다는 의견이 많으면 U를 M으로 하향 재조정하여 새로운 M값을 계산한다.

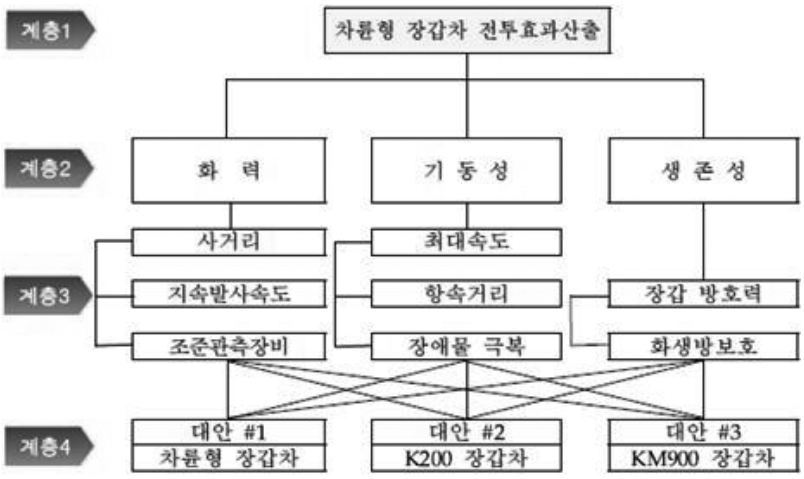
나. AHP

합리적인 의사결정을 하는데 숫자의 오용 및 가중치 도출의 어려움, 상이한 척도의 통합의 어려움, 정량적 요소와 정성적 요소의 통합의 어려움, 그룹 의사결정 도출의 어려움 등의 장애요소들이 있을 수 있다. AHP는 다수의 대안에 대하여 다면적인 평가 기준과 다수 주제에 의한 의사결정을 위해 설계된 의사결정방법의 하나로서 1970년대에 Thomas L. Satty에 의해 개발된 다수준 의사결정 기법이다. AHP는 해결하고자 하는 문제의 목적이 있고, 이 목적을 달성하기 위한 여러 가지 대안이 있으며, 대안을 평가할 수 있는 평가항목이 있을 때 이들을 계층 형태로 만들고 나서 그 계층을 구성하고 있는 요소들 간 서로 비교를 통해 가중치를 구하고, 이를 토대로 의사결정을 내리는 방법이다. AHP의 절차는 다음과 같다.

▷1 단계 : 대안과 대안에 대한 평가요소를 선정한다.

▷2 단계 : 의사결정 목적, 평가 요소, 대안들을 계층구조로 나타낸다. <그림 4-3>은 AHP 계층구조의 예이며, 차륜형 장갑차 전투효과산출을 위한 의사결정 계층구조를 나타낸다. <그림 4-3>은 차륜형 장갑차의 3가지 대안(차륜형 장갑차, K200 장갑차, KM900 장갑차)에 대한 전투효과 산출을 위해서 평가 요소로 크게 화력, 기동성, 생존성으로 구분하고 각 평가요소별 하부 평가요소를 선정한 것을 보여준다. 예를 들어, 화력의 하부 평가요소로 사거리, 지속발사속도, 조준관측장비를 선정하였다.

〈그림 4-3〉 AHP 계층구조 예시



▷3 단계 : AHP 설문지를 작성하여 관련 전문가에게 설문을 받는다.

▷4 단계 : 설문결과를 바탕으로 쌍비교 행렬을 만들고 고유치(Eigenvalue)와 고유벡터(Eigenvector) 방법을 사용하여 평가기준에 대한 상대적 가중치를 구한다.

▷5 단계 : 위에서 얻어진 각 평가기준의 상대적 가중치와 각 기준에 대한 대안의 상대적 평가치를 이용하여 대안의 종합효과를 구한다.

AHP는 워게임으로 모의가 불가능한 무기체계에 대해서 정적인 효과 산출이 가능하고, 의사결정에 영향을 미치는 수 많은 요소들을 고려하여 대안별 상대적 중요도 도출이 가능한 장점들이 있는 반면에 설문지 자체에 결함으로 인해 편향된 결과가 도출될 수도 있고, 대안별 상대적 평가점수 부여시 평가자의 비합리적 판단 가능성이 내재되 있는 단점들이 있다.

3. 비용분석

비용분석은 어떤 시스템이나 계획, 주어진 임무에 소요되는 미래 비용을 예측하기 위해 과거 경험 자료를 수집하여 분석하고 정량적인 모델이나, 기법, 수단, 데이터베이스를 적용하는 과정이라고 할 수 있다. 비용분석을 통해서 획득단계별 의사결정 시에 비용측면에서 유리한 대안을 찾고, 가용 예산 내에서의 실행가능성을 판단하여 예

산배분의 효율성을 달성하고, 비용 절감 대안을 찾아내는 것이 목적이다. 비용분석의 일반적인 절차는 문제정의, 비용분석 방법 결정, 자료수집, 자료분석, 적정비용 추정 산출, 보고서 작성 단계로 진행되며 각 단계별 다음 사항들을 고려하여야 한다.

▷문제정의의 단계에서는 비용분석 목적·범위를 명확히 설정하여야 불피요한 시간낭비를 막을 수 있다.
▷비용분석 방법 결정단계에서는 작업분할구조(WBS, Work Breakdown Structure)를 자료수집 가능 정도를 고려하여 결정하여야 한다.
▷자료수집 단계에서는 분석정도에 따라 자료 수집량을 결정하여 사업추진 관련 자료 등을 수집하여야 한다.
▷자료분석 단계에서는 분석 방법 및 모델 채택 후 수집자료를 비목별로 검토한다.
▷최종비용 추정값을 산출 시는 분석 모델별 추정 결과를 비교하여 최종 결과를 산정하여야 한다.

비용분석에는 주로 <표 4-7>에 제시된 4가지 방법중에서 선택하여 사용하며, 실제 비용분석간 적어도 2가지 이상의 분석방법을 활용하여 상호 결과를 비교분석하여 최종 결론을 도출하여야 한다.

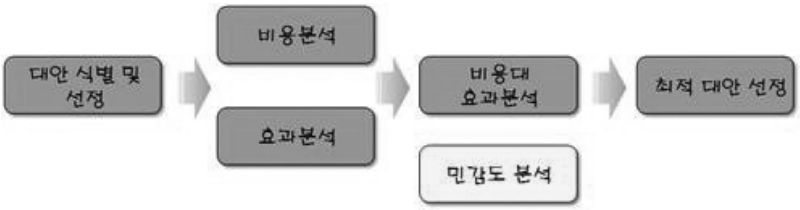
<표 4-7> 비용분석 방법의 종류

방 법	내 용
공학적 추정법	체계의 하위단계부터 세부적인 추정을 실시하여 최상위 단계까지 전부 누적시켜 최종 추정치를 산출하는 방법
매개변수 추정법	비용을 종속변수로 보고 시스템 특성(중량, 출력, 성능 등)을 한 개 혹은 그 이상의 변수를 독립변수로 가정해서 상호간 수학적 관계식인 비용추정관계식(CER : Cost Estimating Relationship)을 찾아내는 방법
유사 추정법	현재 비용추정하려고 하는 체계와 가장 유사한 체계를 선정하여 체계 전체, 하부체계, 구성품 단계까지 비교 가능한 부분을 식별 하여 비용을 추정하는 방법
전문가 추정법	전문가의 직관적인 판단을 이용하여 비용을 추정하는 방법으로 1:1일 면접, Delphi 기법 등이 있음

4. 비용대 효과분석

비용대 효과분석(CEA: Cost Effectiveness Analysis)는 투입된 비용과 효과를 분석하여 특정한 목적을 수행하는 데에 가장 적은 비용이 드는 방법을 선택하거나 한정된 비용으로부터 최대의 가치 또는 최고의 효과를 주는 대안을 찾는 방법이다. 비용대 효과분석은 비용분석과 효과분석 결과를 종합하여 의사결정하는 방법이며, 그 절차는 <그림 4-4>와 같다.

<그림 4-4> 비용대 효과분석 절차



▷대안 식별 및 선정 : 국내 연구개발, 해외구매 등으로 구분하여 획득 대안을 선정한다

▷비용분석 : 비용분석 대상의 특성을 고려하여 <표 4-7>에서 적절한 비용분석 방법을 선정하고 결과를 도출한다.

▷효과분석 : 비용분석 대상의 특성을 고려하여 동태적 또는 정태적 분석2) 방법을 활용하여 효과를 산출한다.

비용분석과 효과분석이 완료되면 비용대 효과분석을 하며 세가지 방법이 있다. 첫 번째는 효과고정법으로 이는 대상체계의 작전요구효과를 고정시켜 놓고 최소비용의 대안을 모색하는 방법이다. 두 번째는 비용고정법으로 이는 대상체계의 획득비용을 고정시키고 최대효과를 주는 대안을 선정하는 방법이다. 마지막 방법은 비용효과 비율법으로 효과와 비용의 비율(즉, 효과 비용)을 구하여 단위 비용당 최대효과를 주는 대안을 찾는는 방법이다. 비용과 효과간의 관계를 나타내는 비용-효과 곡선을 정확하

2) 동태적 분석은 작전개념에 맞는 시나리오를 작성하여 M&S 모의를 통한 동적인 상황하에서 효과분석을 하는 것이며, 정태적 분석은 비용편익분석, 다요소 의사결정방법, 전력지수방법, 몬테카를로 방법 등을 사용하여 효과분석을 하는 방법이다.

게 알기 어렵기 때문에 주로 비용효과 비율법을 많이 사용한다.

5. M&S 분석

M&S는 모델링(modeling)과 시뮬레이션(simulation)의 합성어로써, 모델링이란 시스템, 개체, 현상 또는 절차의 물리적, 수학적, 논리적 표현 과정을 의미하고, 시뮬레이션은 모델로 표현되는 모델링의 결과를 실제와 동일 또는 유사하게 시간에 따른 변화로 표현하는 방법을 의미한다[3].

M&S 분석은 분석평가 업무를 위해서 M&S를 사용하는 분석방법으로 합리적인 의사결정에 필요한 군사력평가, 개념분석, 군 구조분석, 소요검증, 작계분석, 합동 및 전투실험 등에 많이 적용된다. 이때 M&S 분석용으로 개발된 모델인 JOAM-K, JICM, AWAM, EADSIM, OneSAF, ROK-JWS 등을 사용하며 각 모델의 활용분야는 <표 4-8>[4]과 같다.

M&S 분석은 실제 고려대상이 되는 다양한 상황을 모델에 반영하여 분석을 하기 때문에 분석을 위한 가장 바람직한 수단이지만, 모델 개발에 많은 시간과 비용이 소비되며 운용자는 모델에 대한 사전 지식 및 운용능력이 있어야 하고 실제 운용간에는 DB 입력 및 모의에 장기간이 소요되는 단점이 있다.

〈표 4-8〉 분석용 모델의 종류

모 델	활용 분야	주요 기능
JICM (Joint Integrated Contingency Model)	• 합동교리/작계분석, 공·지·해 합동작전 분석 및 소요 검증을 지원하는 지상군 중심의 합동작전 분석용 전구급 모델	• 작전계획분석 • 장차작전분석 • 무기체계 전투력 효과분석
JOAM-K (Joint Operations Analysis Model-Korea)	• 한반도 전역의 작전환경, 지형 모의를 통해 공·지·해 합 전력 및 작전분석을 지원하는 전구급 분석용 모델	• 합동작전환경에서의 무기체계 전투력 효과분석 및 소요 검증 • 한국형 합동작전 계획 장차 작전 분석 및 의사결정 지원

3) M&S 적용 매뉴얼, 방위사업청, 2017

4) 출처 : 육군 분석평가단 홈페이지

EADSIM (Extended Air Defense Simulation)	• 통합방공 지휘통제 통신 체계를 분석 및 평가하여 작전 계획에 대한 대안 분석용 모델	• 작전계획에 대한 대안분석 • 무기체계 운용교리 발전 및 효과분석 • 통합방공 지휘통제통신체계 분석
VISION 21 (사단급 제대 작전분석용 모델)	• 사단급 제대 작전계획 및 방책 분석용 모델로 전투발전 요소 평가/검증 지원	• 사단급 재대 작전계획 및 방책 분석 • 부대편성/구조, 개선교리, 신규 무기체계 등 전투발전 소요분석
AWAM (Army Weapon Effectiveness Analysis Model)	• 육군 대대급 이하 무기체계 소요제기/의사결정과정 및 무기/장비/물자 소요 검증을 지원하는 지상전투 및 개별 무기체계 효과분석용 모델	• 소요기획단계 분석평가 : 무기체계 소요제기 결정 과정의 과학화, 합리화 및 투명화 등을 달성 • 합동실험 : 군 구조 및 편성, 무기 장비 물자 소요검증 • 육군 전투실험
OneSAF (One Semi-Automated Forces)	• 지상군 여단급 이하 제대의 훈련 및 작전, 획득 및 소요, 미래 무기체계 효과분석	• 최신 전장환경 모의 등의 다양한 목적으로 운용이 가능하며, 일반 분석용 워게임 모델과는 다르게 LVC 연동과 다수 운용자의 동시 운용이 가능한 모델
ROK-JWS (JMEM Weaponeering System)	• 미군의 JWS의 한국 보급형 모델 • 공대지 및 지대지 무기체계의 무기효과분석	• 공대지/지대지 무기 효과분석 • 건물/벙커/터널 등 특정 시설물에 대한 무기효과 분석 • 타격목표별 요망효과 달성을 위한 최적의 무기추천

6. 수리 모델을 활용한 최적화 기법

주어진 문제를 목적함수와 제약식으로 이루어진 수리적 모델로 모형화하고 제약식이 만들어 내는 고차원의 가능해 공간에서 목적식의 값을 최적화하는 대안을 찾아내는 방법이다. 수리 모델을 활용한 최적화 기법에는 목적식과 제약식의 선형성 및 연속성을 기준으로 선형계획법, 비선형계획법, 정수계획법 등으로 분류된다.

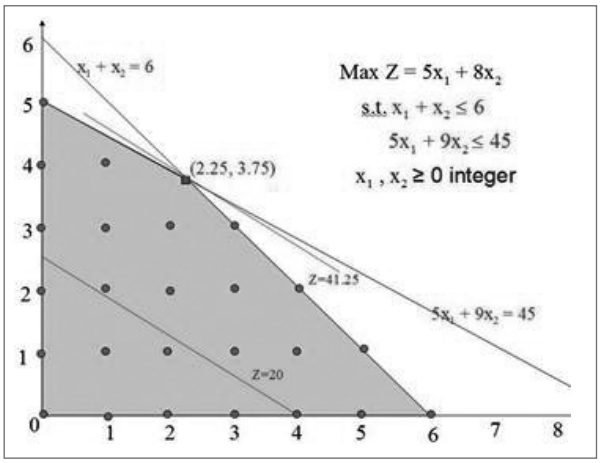
▷선형계획법은 모든 결정변수들이 연속형이며 목적함수 및 제약식을 모두 결정변수의 선형함수로 구성할 수 있는 모형이다.

▷비선형계획법은 모든 결정변수들이 연속형이며 목적함수 또는 제약식 중에서 적어도 하나의 비선형함수가 존재하는 모형이다.

▷정수계획법은 모든 결정변수들이 이산형이며 목적함수 및 제약식을 모두 결정변수의 선형함수로 구성할 수 있는 모형이다.

<그림 4-5>은 결정변수가 2 개(x1, x2)이고, 목적함수가 "5x1 + 8x2", 제약식이 "x1 + x2 6" 과 "5x1 + 9x2 45"인 정수계획 모델의 가능해 영역(동그라미로 표시된 점들)을 보여주고 있다.

<그림 4-5> 수리 모델의 목적함수, 제약식, 가능해 영역 예시



정수계획법은 <그림 4-5>에 나타난 바와 같이 결정변수가 정수값만을 가져야 하는 제약이 있다. 위 모형에서 결정변수들의 정수해 제약식(integer)를 제거하면 선형계획법 모형이 되고 가능해 영역은 <그림 4-5>의 음영으로 된 영역이 된다.

7. 소결론

분석평가 업무의 영역이 다양하기 때문에 앞서 제시한 분석평가 방법들 외에도 많은 과학적 방법들이 분석평가에 사용되고 있다. 예를 들면, 통계를 활용한 가설검정 및 회귀분석, 각 계층들이 독립적이지 않은 경우 AHP 대신에 적용할 수 있는 ANP(Analytic Network Process), 여러개의 대안들 중에서 이상적인 해로부터 가장

가깝고 비이상적인 해로부터 가장 먼 최적의 대안을 결정하는 다요소 의사결정 방법의 하나인 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), 비용과 편익을 모두 화폐단위로 측정하여 비용대 효과분석을 하는 비용편익 분석(CBA: Cost Benefit Analysis), 다수의 투입물과 다수의 산출물의 비율을 이용하여 의사결정단위의 상대적 효율을 측정하는 자료포락분석(DEA, Data Envelopment Analysis) 등이 있다. 분석평가 업무의 목적을 달성할 수 있다면 가용한 모든 방법과 수단을 동원할 수 있기 때문에 분석평가에 사용되는 방법들은 제시된 것보다 더욱 다양하다고 할 수 있다. 따라서 향후 분석평가 업무의 질을 향상시키기 위해서 다양한 분석평가 방법론의 도입 및 개발이 필요하며 이들 방법론을 교육시키기 위한 전문교육체계의 도입도 고려되어야 할 것이다.

IV. 국내 외 분석평가 교육기관 현황

앞서 제시된 분석 방법들은 전문적인 지식을 요구하는 내용들이 많기 때문에 분석평가 업무에 종사하는 사람들을 대상으로 교육이 필요하다. 국내에 분석평가만을 전담하는 전문기관은 없으며, 방위사업에 관련된 전반적인 교육을 하는 교육기관에서 분석평가 관련 내용을 일부 교육하고 있다. 이러한 교육기관은 국방대학교의 직무교육원, 방위사업청에서 운영하는 방위사업교육센터, 국방과학연구소의 국방과학기술아카데미, 한국방위산업진흥회의 방위산업교육센터 등이 있다. 국외는 우리군의 분석평가 실무자들의 위탁교육을 받고 있는 미국의 DAU에 대해서 소개한다. 국내 외 분석평가 교육기관의 교육내용을 알아보고 향후 나아갈 방향을 파악하고자 한다.

1. 국방대학교 직무교육원[5)]

가. 교육 소개

국방대학교 직무교육원은 국방관련 실무자들의 직무 전문지식과 실무능력을 향상시키기 위해 2001년 “직무연수”라는 명칭으로 창설되었으며, 최고 경영자 과정을 포

5) 출처 : 국방대학교 홈페이지, https://www.kndu.ac.kr/

함하여 7개 과정을 운영하였다. 2008년 이후 "직무교육원"으로 명칭을 개정하여 현재에 이르고 있다.

직무교육원은 국방부 본부 및 소속기관, 합참 및 연합사 소속의 현역 및 군무원, 유관기관(경호실, 경찰청 등) 근무자들을 대상으로, 공직자에게 요구되는 직무수행능력과 분야별 창의적인 전문지식 및 실무능력을 갖춘 미래지향적 전문인력을 양성하는 것을 교육 목표로 하고 있다.

직무교육원의 교육 중점은 직무에 요구되는 관련 법규, 제도 및 업무 체계를 이해 및 숙지하고 교육 대상별 맞춤식 교육을 실시하는 것이며, 기본교육, 사업관리 교육, 국방정책관리교육, 특별교육의 4개 과정을 운영하고 있으며 교육 과정별 교육 중점은 다음과 같다.

▷기본교육 : 국방정책 및 군 이해, 공직자의 국가/안보/윤리관 확립
▷사업관리교육 : 국방정보/무기체계 분야 전문성 향상
▷정책관리교육 : 국방정책, 국방관리 분야 현업 적응도 향상
▷특별교육 : 현역 및 예비역 장성의 사회적응 능력 함양
각 과정별 주요 교육내용은 〈표 4-9〉와 같다.

〈표 4-9〉 직무교육원 과정별 교육체계

과정	교육 체계	
기본 교육	군무원 신규임용자 과정(일반) 군무원 재직자 과정(국방관리자 일반 고급과정, 실무자 행정 기술 과정	
사업 관리 교육	정보체계 사업관리	기본과정, 국방아키텍처과정, 상호운용성과정 M&S과정, 사이버안보과정, SW개발관리과정 첨단ICT과정, 감리과정
	무기체계 사업관리	기본과정, 프로젝트관리과정, 미.DAU과정 분석평가과정, 소요관리과정, 연구개발관리과정 시험평가사양성과정, 획득군수과정 원가관리과정, 계약 및 협상과정

과정	교육 체계
국방 정책 관리 교육	국방통합물류전문가과정, 국방안보정책과정, 창의적리더십과정 국방갈등관리과정, 국방정책홍보과정, 군 책임운영기관관리과정 성과관리과정, 국방시설환경관리과정, 군사시설보호관리과정 국방감사정책실무과정, 청렴교육강사양성과정, 인권교관과정 국방정책전략결정과정, 자살예방관리과정
특별 교육	최고경영자과정, 대통령경호실 신임직원과정 경찰청 인권교관과정, 경찰청 자살예방관리과정 3군 본부 전입직원과정, 기무사 전입직원과정 관리대 소요관리과정

나. 분석평가 관련 과목

<표 4-9>에 나타난 바와 같이 분석평가 관련 과목은 무기체계 사업관리에 미.DAU 과정, 분석평가과정으로 포함되어 있는 것을 볼 수 있다. 미.DAU 과정은 5절에 별도로 소개하고 여기서는 분석평가과정만을 소개한다. 분석평가과정은 국방 분석평가 직무관련 지식을 이해하고, 사업 단계별 분석평가 기법과 사례 및 절차 숙달을 통한 업무 전문성 향상 및 능력제고에 목표를 두고 있으며, 교육 중점은 다음과 같다.

▷분석평가 관련 배경 지식, 이론 기법 및 체계 이해
▷방위력 개선사업의 단계별 분석평가 절차 숙지
▷사업별 분석평가 보고서 작성 실습을 통한 실무능력 배양

분석평가 과정에 개설된 과목에서 공직자 자세, 군사력 건설 및 전력증강 계획, 입수료식 등 분석평가와 직접적인 관련이 없는 과목들을 제외하고 순수하게 분석평가와 관련된 과목들만을 정리하면 <표 4-10>과 같다. 직무교육원의 분석평가 과정은 총 70시간으로 편성되어 있으며, 이 중에서 분석평가 관련 과목을 52시간 편성하여 운영하고 있다. <표 4-10>에서 볼 수 있듯이 직무교육원의 분석평가과정의 교과는 크게 “비용분석 이론”, “분석평가실무”, “실습과제 작성 및 발표”로 편성되어 있다. 특히, “국방사업 타당성 조사”, “비용분석 모델 활용 및 추정 사례”, “수명주기 간 비용분석”

등 비용분석 과목에 편중되어 있는 것을 알 수 있다.

〈표 4-10〉 직무교육원 분석평가과정 교과편성

분 야	과 목	시간
비용 분석 이론	국방과학기술 정책 및 개발방향 분석평가 방법론 및 기법 국방사업 타당성 조사	3 3 3
	소 계	9
분석 평가 실무	M&S 활용 방안 및 사례 비용분석 모델 활용 및 추정 사례 R&D사업 기술적 타당성 분석 사례 소요검증제도 및 사례 획득단계 분석평가 절차/사례 수명주기 간 비용분석 전력소요분석 사례 전력화평가 방법 및 사례 전력운영사업 분석 방법/사례	3 3 3 3 3 3 3 3 3
	소 계	27
실습과제 작성/발표	사업별 분석평가 보고서 작성 실습 발표 / 강평	124
	소 계	16
합 계		52

2. 국방과학연구소 국방과학아카데미[6)]

가. 교육 소개

국방과학연구소는 체계적인 국방연구개발 인재 육성 체계를 구축하고, 국방과학 신기술 및 전문기술 교육을 강화할 목적으로 2008. 8. 30. 국방과학아카데미를 개원하였다. 군, 군 관련기관, 방산 및 일반업체 근무자와 학교 등을 대상으로 맞춤형 기술교육을 시행하고 있으며, 전쟁패러다임의 변화에 부응하는 국방과학 연구개발 및 관리 역량을 갖춘 전문기술 인력 양성을 교육 목표로 한다. 국방과학아카데미 교육의 중점은 다음과 같다.

▷국방연구개발 중점분야(C4ISR+PGM7)) 기술교육 강화
▷4차 산업혁명 관련 첨단국방기술 교과목 편성
▷연구개발에 실질적 도움이 되는 실무중심의 교육으로 연구개발 능력 향상
▷무기체계 개발에 소요되는 공통기술, 핵심기술, 체계기술, 소요기술 등의 다양한 기술 교육 제공으로 관련 기술능력 향상
▷교과목을 수준별(일반/전문/심화)로 구성하여 피교육자의 수준에 적합한 교육 제공으로 체계적 교육을 통해 기술능력 확보
▷군과 업체를 찾아가는 수요자 중심의 맞춤형 기술교육 시행

국방과학아카데미는 전문기술교육을 크게 체계기술, 핵심기술, 공통기반기술로 구분하고 있으며, 특정한 목적으로 발생하는 소요에 대비하기 위하여 소요과정도 별도로 운용하고 있다. 전문기술교육 분야별 주요 교육내용은 <표 4-11>과 같다.

6) 출처 : 국방과학연구소 홈페이지, https://www.add.re.kr/

7) Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance + Precision Guided Munitions

〈표 4-11〉 국방과학아카데미 전문기술교육 분류

분 야	체계기술	핵심기술	공통기술
정밀타격	유도무기체계	유도조종기술 고체추진기술 유도탄수명평가/ 예측기술(ASRP[8])	체계공학 사업성과관리(EVM[9]) M&S기반획득 종합군수지원(ILS) 비용분석 무기체계 내장형 SW개발관리 시험 및 계측기술 유도무기 시험평가
지휘통제/ 정보전	전자전체계 군위성통신체계 네트워크중심전	전술데이터링크기술 상호운용성기술 영상데이터링크기술	
감시정찰/ 센서	감시정찰체계	EO/IR[10] 기술 항법 및 관성센서기술 위상배열 레이더 RF기술 레이더기술	
고에너지/ 소재	방호체계(HPM, EMP)[11]	탄두/탄약/신관 기술 군용전지 기술 국방소재/공정기술 화약기술 레이더센서기술 열적외선 및 레이더회피 스텔스소재 개론 EMP/EMI/EMC[12] 기술	
지상/ 화생방	기동무기체계 화력무기체계	무인자율화기술 화생방기술	
해안/함정	잠수함체계 수중무기체계 함정전투체계	수중탐지기술	
항공/ 무인기	항공무기체계 M&S 헬기 MEP[13] 체계설계	항공기 구조설계 기술 항공기 공력설계 기술 항공기 세부/추진계통 설계 구조시험 항공전자/비행제어	

8) 저장탄약 신뢰성 평가 (Ammunition Stockpile Reliability Program)

9) 성과관리 (Earned Value Management)

10) 전자광학 및 적외선 (Electro-Optical and Infrared)

11) 고출력 극초단파 (High Power Microwave), 전자기펄스 (Electro-Magnetic Pulse)

12) 전자파 간섭 (Electro-Magnetic Interference), 전자파 적합성 (Electro-Magnetic Compatibility)

13) 임무탑재장비 (Mission Equipment Payload)

나. 분석평가 관련 과목

국방과학아카데미에서 개설한 과목들은 대부분 기술개발에 직접적으로 관련된 전문기술 위주의 교육이며, 분석평가 관련 과목은 공통기술로 분류하여 반영하고 있다. <표 4-11>의 공통기술에 포함된 분석평가 과목은 M&S기반획득, 비용분석, 시험 및 계측기술 등이다. 분석평가 관련 과목의 교육 내용은 <표 4-12>와 같다.

국방과학아카데미 분석평가 관련 과정들은 2일에 걸쳐서 12시간 교육을 진행한다. M&S 기반 획득과정에는 M&S를 이용한 획득절차와 M&S를 이용한 효과분석 등을 강의하고 있으며, 비용분석 과목의 강의 내용은 H/W 및 S/W 비용분석 뿐만 아니라 비용분석에 필요한 기초 통계관련 과목들을 포함하고 있다. 시험 및 계측 과정에서는 지상, 해상, 공중 무기체계에 대한 시험 및 계측기술들을 강의하고 있다.

<표 4-12> 국방과학아카데미 분석평가 교과편성

구 분		교육 과정명	구 분		교육 과정명
기본과정		방위사업 입문과정	전문교육	사업분야	유도무기사업관리 실무과정
		정책관리 입문과정			패키지시설사업관리 실무과정
		사업관리 입문과정			지상무기사업관리 실무과정
		계약관리 입문과정			사업성과/목표비용관리(EVMS&CAIV) 특별과정
		승진후보자 역량 과정			함정사업관리 실무과정
전문교육	공통	방산기술보호 실무과정			함정설계 특별과정(기본성능)
		감사업무이해 특별과정			함정설계 특별과정(특수성능)
	정책분야	획득정책 실무과정			무기체계지속개발 특별과정
		RAM업무 특별과정		계약분야	원가회계 실무과정
		무기체계 SW 개발관리 특별과정			표준관리 실무과정
		M&S 기반획득(SBA) 특별과정			규격업무능력향상 특별과정
		방산정책 실무과정			조달관리 실무과정
		절충교역협상 실무과정			국내계약 실무과정
		국방기술개발 특별과정			정비계약 과정
		분석평가 실무과정			계약특수조건 과정
		시험평가 실무과정			협상에 의한 계약 과정

전문교육	사업분야	항공사업관리 실무과정	전문교육	계약분야	국제협상 실무과정
		지휘정찰감시체계사업관리 실무과정			FMS 실무과정
		기술관리 실무과정			상업구매 실무과정
		상호운용성 및 전술데이터링크 특별과정			국제계약 규범해설 특별과정
		군수지원분석(LSA) 특별과정		자격증분야	소프트웨어시험 특별과정
		항공무기체계 특별과정			PMP 전문과정 (국방프로젝트관리 전문가 교육과정)
		국방로봇사업관리 실무과정			감항인증 일반과정
		ILS요소개발 특별과정			감항인증 보수과정
		과학적사업관리기법 특별과정			감항인증 심화과정

3. 방위사업청 방위사업교육센터

가. 교육 소개

방위사업청은 내부 직원의 직무능력 향상과 더불어 외부 방위사업 관련 기관들에 대한 업무 능력 향상 지원을 위해서 2007년부터 청내에 전문교육과정을 개설하여 운영하고 있으며, 주요 교육대상은 다음과 같다.

▷방위사업청 및 출연기관 직원
▷국방부, 합참, 육 해 공군 소속 인원으로 방위사업 관련 업무 수행
▷방위산업체 또는 방위사업을 수행하는 업체의 직원

교육은 기본교육과 전문교육으로 구분되며, 기본교육은 5개 과정, 전문교육은 공통, 정책분야, 사업분야, 계약분야, 자격증분야에 45개 교육과정으로 구성되어 있고, 세부 과정은 <표 4-13>과 같다.

〈표 4-13〉 방위사업교육센터 방위사업 전문교육 과정

분 야	과 목	시 간
M&S 기반 획득	• 국방 M&S 개관	2
	• M&S 기반 획득제도	2
	• SBA 통합정보체계	2
	• M&S 활용계획 작성 및 사례	2
	• 국방 M&S 발전방향	2
	• M&S 기반 설계 및 검증방법	2
	• M&S 신뢰성 평가(VV&A)	2
	• M&S 기반 무기체계 개발사례(업체주도)	3
	• M&S 기반 무기체계 개발사례(정부주도)	3
합 계		20
분석 평가	• 분석평가 업무소개	2
	• 국방사업분석 이론과 사례	2
	• 소요기획단계 분석평가 업무 및 사례소개	2
	• 전력소요 검증	3
	• 사업 타당성 조사 소개	2
	• 기술성숙도 평가	2
	• 비용분석 및 사례	2
	• 획득단계 분석평가 및 업무수행 절차	2
	• 운영유지단계 분석평가 업무 및 사례 소개	3
합 계		20
시험 평가	• 시험평가 개요	3
	• 시험평가 프로세스	2
	• 개발시험평가	3
	• 상호운용성시험	2
	• 전자파 적합성시험	2
	• 시험평가 이슈 및 시험성적서 사례	2
	• 개발시험평가	2
	• 운용시험평가	3
	• 환경시험평가	2
	• 전력화지원 시험평가	2
	• M&S 시험평가	3
	• 유도무기시험평가	3
	• 신뢰성시험평가	2
	• 핵심기술/ACTD시험평가	2
합 계		32

나. 분석평가 관련 과목

방위사업청 교육과정에 분석평가 관련 과정은 전문교육의 정책분야에 편성되어 있으며 M&S 기반획득(SBA) 특별과정, 분석평가 실무과정, 시험평가 실무과정 등이 있다. 분석평가 관련 과정의 교육내용은 <표 4-14>와 같다.

M&S기반 획득(SBA) 특별과정은 국방 M&S 기반의 획득 분야 실무지식 습득 및 역량강화에 목표를 두고 있으며, SBA 통합정보체계 소개, M&S 기반 설계 및 검증방법 이해, M&S 신뢰성 평가(VV&A), 국방 M&S 발전방향, M&S 기반 무기체계 개발사례 등을 교육한다.

분석평가 실무과정은 전사업 및 비용분석의 전 분야에 대한 실무 이해와 업무수행 절차를 습득하는데 교육 목표를 두고 운용되고 있다. 본 과정의 교육 중점은 단계별(기획단계, 획득단계, 운영유지단계) 분석평가 업무수행 절차 및 방법 이해, 비용분석 업무 및 사례 소개, 국방사업 타당성 조사 업무 및 사례 소개 등이다.

시험평가 실무과정은 무치체계 시험평가 관련 기본지식 습득 및 업무수행 능력 구비가 교육 목표이며, 시험평가 프로세스, 개발 및 운용시험평가, 환경시험평가, 전력화지원 시험평가, M&S 시험평가, 유도무기 시험평가 등을 강의하고 있다.

<표 4-14> 방위사업청 분석평가 교과과정

구 분	교육 과정명	구 분	교육 과정명
방위산업 기본	1일차 : 방위산업 개론, 국방기획관리 및 획득체계, 방산육성 지원 2일차 : 제안서 평가, 부품국산화, 절충교역, 구매관리	PM	1일차 : PM 개요, PM 9대 영역 2일차 : WBS 작성 실습, 공정표 작성
ILS	1일차 : ILS요소개발관리, 창정비요소개발/전자식교범 2일차 : 군수지원분석, RAM분석	방산원가관리 중급	1일차 : 원가총론, 제조원가산정 2일차 : 비제조원가산정, 방산 제 비율산정
무기체계 원리	1일차 : 무기체계개론, 지상무기 2일차 : 탐지자산, 정밀유도무기	국방표준화	1일차 : 국방표준정책, 형상관리, 군수품규격화및관리 2일차 : 국방목록화 및 관리, 목록관리작성실무

구 분	교육 과정명	구 분	교육 과정명
국방 품질 보증 실무	1일차 : 품질경영, 제조성숙도평가 2일차 : 연구개발품질보증, 양산단계품질보증문제 해결	방산 원가 관리 초급	1일차 : 원가관리이해, 협력업체원가 검증 매뉴얼 및 제비율산정 2일차 : 제조원가산정방법, 협력업체원가산정개론 및 실습
방산 계약 실무	1일차 : 국방조달업무절차와 계약, 방위사업주요제도, 방위사업계약특례 2일차 : 국내 외계약조건이해, 입·낙찰, 지체상금 사례	체계 공학	1일차 : 체계공학 개요, 체계공학 프로세스 2일차 : 체계공학관리, 체계분석/통계 기법
비용 성과 분석	1일차 : 비용분석이해, 비용분석사례 2일차 : 사업성과, 목표비용관리	방산 시험 평가	1일차 : 시험 평가 개요 2일차 : 합참시험평가정책 및 절차, 무기체계시험평가실무
무기 체계 SW 개발 관리	1일차 : S/W신뢰성 시험, 개발요구사항관리 2일차 : 임베디드 소프트웨어, CMMI[14] 프로세스 이해	군용 항공기 감항 인증	1일차 : 감항인증 제도, 감항인증사례 2일차 : 미군의 감항인증제도, 항공안전 표준, 신뢰성

4. 한국방위산업진흥회 방위산업교육센터

가. 교육 소개

방위산업교육센터의 방위산업실무교육 목표는 방위산업 인력육성기반 조성, 방위산업 재직자의 직무능력 향상, 대 중소기업 상생협력 촉진, 전문인력 및 신기술 확보를 통한 기업 경쟁력 강화, 일자리 창출 및 국내 경제 활성화 기여 등이다. 방위산업진흥회와 교육협약이 체결된 200여개 기업의 임직원을 대상으로 방위산업기본을 비롯한 20개 과정을 운영중이며 세부 교육과정과 교육내용은 <표 4-15>와 같다.

14) 능력성숙도 통합모델 (CMMI: Capability Maturity Model Integration)

〈표 4-15〉 한국방위산업진흥회 방위산업 전문교육 과정

구 분	교육 과정명	구 분	교육 과정명
상호 운용성	1일차 : 상호운용성과 합동성개요, 상호운용성기반기술 및 표준 2일차 :국방상호운용성구현 및 평가, 전술데이터링크	무기체계 효과분석 및 체계개발	1일차 : 국방 M&S 개론, SBA, M&S 효과분석, M&S활용 시험평가 2일차 : 무기체계 획득단계별 M&S, 연구개발단계별 M&S 활용
방산 수출 전문	1일차 : 방산수출정책/지원제도, 정부방산수출허가제도, 수출절충교역전략/사례, 국방마크인증활용/사례, 방산수출금융지원/사례 2일차 : 권역별(아시아, 중동, 남아메리카, 아프리카)수출마케팅	방산 경영 관리	1일차 : 회계원리와 방산경영, 방산 재무분석 2일차 : 방산위기 관리, 사례연구/토의, 방산보증
방산 보안 실무	1일차 : 방위산업보안개론, 방산/관련업체 보안실무자교육, 정보통신보안시스템 구축 2일차 : 사이버침해 사고대응 및 분석, 주요보안사고사례분석 및 대책, 지식재산보호동향 및 영업비밀보호의 중요성	연구 개발 관리	1일차 : 체계개발 개요, 개발단계별 절차, 주장비개발사례/양산준비 2일차 : 전력화지원요소개발/사례

나. 분석평가 관련 과목

방위산업교육센터의 분석평가 관련 과정은 비용/성과분석, 방산시험평가, 무기체계효과분석 및 체계 개발 등이 있으며 모두 2일간 교육이 진행된다. 비용/성과분석과정은 비용분석 이해 및 사례, 목표비용관리 등을 교육하며, 방산시험평가 과정은 시험평가 개요 및 합참의 시험평가 절차에 대해서 강의한다. 무기체계 효과분석 및 체계개발 과정은 M&S를 활용한 무기체계 효과분석 방법에 대해서 교육을 진행한다.

5. 미국의 분석평가 교육기관 현황

미국의 대표적인 방위사업 관련 교육기관은 국방획득대학(DAU: Defense Acquisition University)이다. 미국은 미 국방성의 국방획득인력행동강령법과 훈령 5000.57에 의거하여 1991년 국방획득 전문대학을 설립하였다.

가. 교육 소개

DAU는 대학 본부 외에 지역별로 미 전역에 5개의 캠퍼스(서부, 남부, 중서부, 수도 및 동부, 중부-대서양 캠퍼스)와 2개의 특성대학(계약관리대학, 국방체계관리대학)을 두고 있다. DAU 교육체계의 목표는 교육훈련(Training), 지속학습(Continuous Learning), 임무지원, 지식공유 등의 시스템을 구축하고, 이들 시스템을 활용하여 획득 전 분야의 전문가를 양성하고, 이들 전문인력을 통해서 업무성과 및 임무효과 달성, 비용효과적 시스템/장비 서비스 제공, 전투원 요구에 부합하는 서비스 제공, 더 나은 획득결과 확보를 추구하는데 있다. 교육훈련 교육과정의 일부로 분석평가 관련 과목이 편성되어 있기 때문에 여기서는 교육훈련 과정만 소개한다.

교육훈련 과정에는 총 16개의 교육과정이 있으며 다음 <표 4-16>[15]과 같으며, 각 교육훈련 과정은 "기본과정 - 심화과정 - 관리자과정"의 3단계 연계가 될 수 있도록 과목을 세분화하여서 운영하고 있으며, 각 과정별 자격요건을 엄격히 적용하고 있다.

<표 4-16> DAU 교육훈련(Training) 16개 과정

구분	과 목
1	• 획득 및 프로그램관리, 국제 획득 (Acquisition & Program Management, International Acquisition)
2	• 회계감사(Auditing)
3	• 사업-비용추정(Business-Cost Estimating)
4	• 사업-재정관리(Business-Financial Management)
5	• 계약(Contracting)
6	• 공학(Engineering)

15) 출처 : 국방획득 전문교육기관 설립방안 연구 (안보경영연구원, 2016. 5)

구분	과 목
7	• 시설공학(Facilities Engineering)
8	• 산업 / 계약 자산관리 (Industrial/Contract Property Management)
9	• 정보기술(Information Technology)
10	• 수명주기군수(Life Cycle Logistics)
11	• 생산 / 품질 / 제조(Production, Quality, and Manufacturing)
12	• 구매(Purchasing)
13	• 과학 및 기술관리자(Science and Technology Manager)
14	• 시험평가(Test and Evaluation)
15	• 요구사항관리(Requirements Management)
16	• 입증 및 실현(Equivalency and Fulfillment)

나. 분석평가 관련 과목

본 보고서에는 분석평가 관련된 사업-비용추정, 시험평가 과정에 대한 기본과정, 심화과정, 관리자과정에 대한 주요 교과목에 대해서 소개한다. 세부내용은 <표 4-17>에 제시하였다.

〈표 4-17〉 DAU 분석평가 관련 과정 3단계 교육체계

과정	기본과정	심화과정	관리자 과정
사업 - 비용 추정	• 체계획득관리 기초 • 사업재정관리 기초 • 비용분석 기초 • 비용분석 적용 • 성과가치관리 기초	• 체계획득 중급 A • 체계획득 중급 B • 비용분석 중급 • 비용위기분석 • 운용/비용분석 지원 • 획득사업관리 개념 • 획득사업관리 적용 기술예측 • 데이터 확보 및 지원	• 비용분석 개념 고급 • 소프트웨어비용 추정

과정	기본과정	심화과정	관리자 과정
시험 평가	• 체계획득관리 기초 • 체계계획, 연구, 개발, 공학기초 • 시험평가 기초 • 시험평가 M&S • 정보보증 • 확률 및 통계 소개	• 체계획득 중급 A • 체계획득 중급 B • 체계계획, 연구, 개발, 공학중급 • 시험평가 중급 • 기술검토 • 합동환경 시험 • 신뢰성 및 유지성 • 합동능력통합 / 발전체계 소개	• 시험평가 고급 • 품목지원사업 사례분석 • 통합생산팀관리 및 리더십 • 업무내역향상

사업-비용추정 과정은 비용분석의 기초부터 비용위기분석, 데이터 확보 및 지원, 소프트웨어 비용추정 과목 등을 포함한다. 시험평가 과정은 시험평가 기초, 시험평가 M&S, 합동환경 시험, 시험평가 고급 등의 과목을 편성하였으며 특이하게도 확률 및 통계 과목도 편성한 것을 볼 수 있다.

6. 소결론

이번 장에 소개된 국내 교육기관들은 각 기관별 소관분야의 교육과정에 한정하여 교육목표를 설정하고 독립적으로 운영되고 있는 실정이며 또한 분석평가만을 전문으로 하는 기관이 아니기 때문에 분석평가 관련 과목은 일부 과정으로 편성되어 있는 실정이다.

미국의 DAU에서 실시되는 분석평가 교육은 각 과정별 자격요건을 엄격히 적용하여 기본과정, 심화과정, 관리자 과정의 3단계로 체계적인 교육을 진행하여 있으며, 공학(Engineering), 확률 및 통계 등 이론적인 부분에 대해서 일부 교육을 실시하고 있다.

국내 외 교육기관 모두 앞서 3장에서 설명한 다양한 분석평가 방법론들만을 중점적으로 다루는 과목도 많지 않은 실정이다.

V. 분석평가 업무의 전문성 향상방향

앞서 우리는 합참을 비롯한 각 군의 분석평가 업무가 전력소요 분석/검증, 사업 타당성 조사, 시험평가, 전력화 평가, 전력운영 분석, 경영진단, 비용분석 등 다양한 분야에서 이루어진다는 것을 확인하였다. 아울러 다양한 분석평가 업무를 수행하기 위해서 여러 가지 분석평가 방법론이 사용되어야 한다. 본 연구에서는 Logic Tree, Delphi, AHP, 비용분석, 비용대 효과분석, M&S 분석, 수리모델을 활용한 최적화 기법 등을 소개하였다.

분석평가 업무 종사자들이 전문성을 가지기 위해서는 관련 분석평가 방법론들에 정통하고 있어야 한다는 것을 두말할 필요가 없다. 이를 위해서 국방대학교 직무교육원, 국방과학연구소 국방과학아카데미, 방위사업청 방위사업교육센터, 한국방위산업진흥회 방위산업교육센터 등 여러 기관에서 분석평가 관련 과정들을 개설하여 운용하고 있다. 대체적으로 비용분석, M&S 분석, 시험평가, 비용대 효과분석 등의 과목이 주를 이루는 것으로 보인다. 앞서 조사한 내용들을 바탕으로 몇 가지 문제점들을 발견하였으며, 이들 문제들을 제시하고 이에 대한 해결방안을 제시하고자 한다.

먼저, 각 기관의 분석평가 규정이 통일된 형식을 갖추고 있지 않다. 예를 들어, 육군의 분석평가규정은 분석평가 업무를 중심으로 기술되어 있는 반면에 해군과 공군의 분석평가규정은 획득단계를 중심으로 분석평가 업무가 기술되어 있다. 분석평가 규정이 동일한 포맷으로 작성이 된다면 각 군의 분석평가 실무자들이 분석평가에 대한 의사소통이 더 원활해 질 것이다.

둘째, 분석평가의 업무 범위가 명확하지 않았다. 예를 들어, 육군과 해군은 분석평가규정에 시험평가를 포함하여 시험평가를 분석평가의 일부로 보고 있지만 공군규정은 “분석평가 및 야전운용시험 업무”로 명명되어 있어서 시험평가를 분석평가의 일부로 간주하지 않는 듯하다. 분석평가의 정의 및 범위 등이 구체적으로 정립이 되어야 할 것으로 보인다.

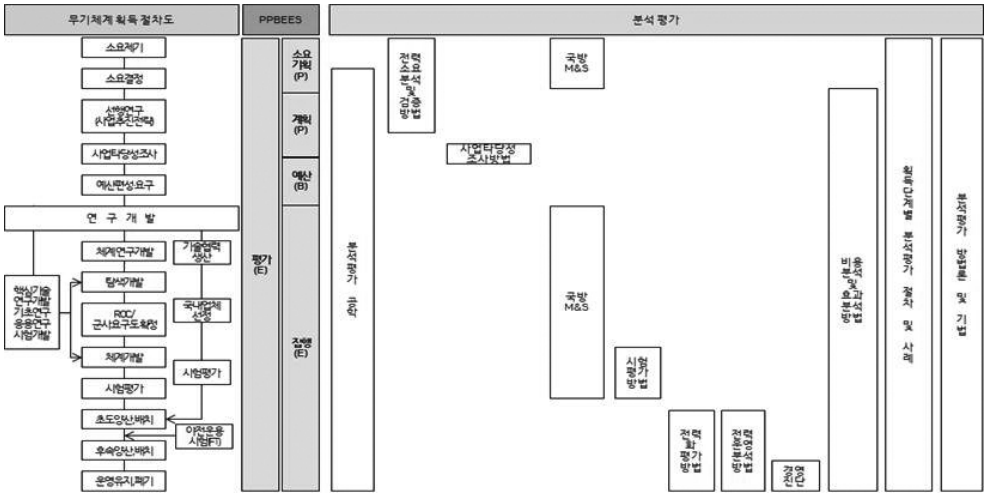
셋째, 각 교육기관별 분석평가 관련 과정이 비용분석, M&S 기반 획득, 시험평가로 한정되어 있는 듯하다. 국방기획관리제도상의 전 순기에서 분석평가 이루어짐에도 불구하고 분석평가 관련 교육이 한정되어 있고 어느 시기에 어떻게 사용하여야 하는지에 대한 구분이 모호하다. 분석평가 전문가 양성에 필수적인 것이 교육이고 교육

은 동일 업무에 종사하는 사람이라면 공통적인 과정을 따르는 것이 효율적이다. 따라서 본 연구에서는 국방전력발전업무훈령의 국방전력발전업무 절차 및 국방기획관리제도의 각 단계와 분석평가 업무에 필요한 교과 과정들을 연계시키고자 하며, 이에 대한 결과가 <그림 4-6>이다.

<그림 4-6>은 맨 왼쪽부터 무기체계획득 절차도, 국방기획관리제도, 분석평가 과정을 나타낸다. 본 연구에서 제시하는 분석평가 과정은 전력소요분석 및 검증방법, 사업타당성 조사방법, 국방 M&S, 시험평가 방법, 전력화 방법, 전력운영분석방법, 경영진단, 비용분석 및 효과분석방법, 획득단계별 분석평가 절차 및 사례, 분석평가 방법론 및 기법, 분석평가 공학 등 총 11개 과정을 제시한다. 각 분석평가 과정은 무기체계 획득 절차 및 PPBEES 순기와 상자의 길이를 통해서 연관되어 있다. 예를 들어, "전력소요분석 및 검증방법"은 소요제기단계부터 선행연구 단계까지 연관된 과정을 의미하며, "분석평가 방법론 및 기법(집중교육)"은 무기체계 획득 절차 및 PPBEES 의 전 순기와 연관된 과정이라는 것을 나타낸다. 또한, "국방 M&S"는 소요제기에서 소요결정 단계, 그리고 연구개발단계에서 시험평가 단계까지 연관된 과정이라는 것을 나타낸다.

분석평가에 방법론이 중요한 것을 누구나 알면서도 국방대학교 직무교육원에만 "분석평가 방법론 및 기법"이라는 명칭으로 3시간이 반영되어 있고 나머지 교육기관의 교육과정에는 이를 명시적으로 반영하고 있지 않았다. 따라서 본 연구에서 제시하는 교과과정에는 "분석평가 방법론 및 기법(집중교육)"의 명칭으로 포함하였으며 분석평가 전문가 양성에 가장 중요한 과목임을 강조한다. 본 과정에서는 앞서 제시된 분석평가 방법론을 포함하여 다양한 분석평가 방법론을 배우고 숙달하는 전문과정이며, 본 과정의 세부 방법론은 지속적으로 보완 및 발전되어야 할 것이다.

〈그림 4-6〉 분석평가 교과체계



또한 “분석평가 공학”을 “분석평가 방법론 및 기법(집중교육)”의 선행과목으로 반영한다. 본 과정에서는 분석평가의 과학적 기법 습득에 필요한 기본적인 통계, 컴퓨터, 선행대수 등의 기초 과목들을 반영하여 학문적 내용위주가 실무 종사자들이 알아야 할 필수적인 내용들에 대해서 교육한다.

마지막으로, 분석평가 전문가 양성을 위한 전문 교육기관이 없다는 것이다. 현재 방위사업청 주관으로 각 국방획득 교육기관을 통합하여 국방획득 전문교육기관 설립을 추진하고 있다. 따라서 국방획득 전문교육기관의 설립이 추진된다면 해당 기관내에 독립된 학과(또는 부서)로 분석평가 전문 교육기관을 설립하여 위에서 제시된 교육과정을 시행해 보는 것도 분석평가 전문가 양성을 위한 방법이다.

VI. 결론

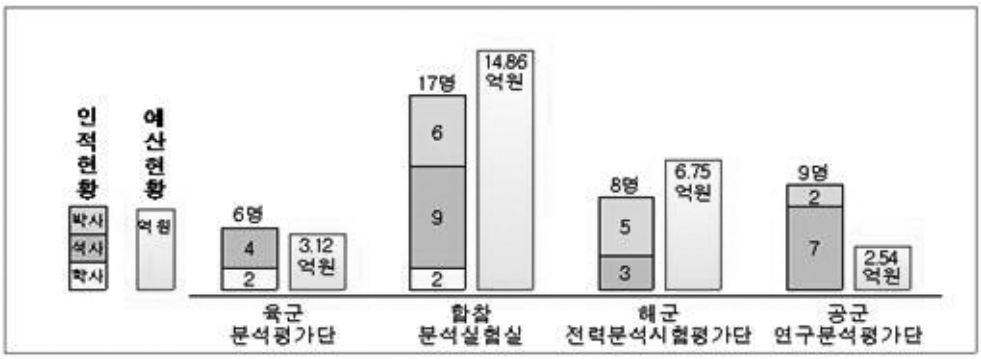
4차 산업혁명 시대의 도래와 아울러 군사력의 지능화 무인화 네트워크화가 가속되고 있으며 이러한 시대 흐름에 부응하기 위해 정부는 국방개혁2.0을 강력하게 추진하고 있다. 정부 정책이 순항하기 위해서는 정책을 뒷받침해 줄 논리적 과학적 근거가 어느 때보다도 중요한 시기이기 때문에 분석평가 업무의 중요성을 새삼 느끼게 된다. 본 연구에서는 각 분석평가 기관의 업무를 분석하고 관련 업무를 수행하기 위한 분석

평가 방법론을 소개하고, 현재 이러한 방법론 교육에 어떤 교육기관들이 어느 정도 참여하는지를 제시하였다. 끝으로, 분석평가 전문가를 양성하여 분석의 질을 도모하기 위해서 새로운 분석평가 교육체계를 제시하면서 마무리하였다.

교육은 "百年之大計"라고 하였다. 분석평가 전문가들이 기본 분석능력이 없는 상태에서 실무에 와서 배우면서 업무를 하는 것은 효율적인 시스템이 아니다. 분석평가 전문가를 배출하는 허브(HUB)의 역할을 할 수 있는 전문 교육기관이 필요하다. 왜냐하면 분석평가 업무에 관련된 모든 종사자들이 통합적이고 전문적인 시각에서 일관성 있는 교육을 받을 수 있는 여건이 조성되어 하기 때문이다. 분석평가 전문 교육기관은 분석평가 업무 발전방향에 대해서 연구하는 싱크탱크로서의 역할도 수행할 것이다.

본 연구결과를 토대로 몇 가지 정책적 제언을 한다. 첫째, 앞서 분석평가 방법론의 설명에서 보았듯이 대부분의 방법론들이 전문적인 능력을 요구하고 있다. 따라서 분석평가 양성 과정에는 관련 분야의 숙련자 또는 석 박사 이상의 학력자가 교육을 담당하여야 할 것이다. 둘째, 각 기관에 상주하는 분석평가 인력의 전문화가 필요하다. <그림 4-7>[16]은 각 기관에서 임무수행 중인 민간 전문인력과 사용되는 예산을 나타낸 것이다. 합참 분석실험실을 제외하고는 각 군의 분석평가 전문인력과 예산이 부족한 것을 알 수 있다.

<그림 4-7> 분석평가 기관별 민간 전문분석관 현황



장교 군무원의 경우 잦은 보직이동으로 해당 분야에 전문성을 유지하기가 제한된다. 따라서 전문성을 갖춘 민간인력을 확보하여 분석평가의 연속성과 신뢰성을 보장

16) 육군 분석평가단, "합리적 의사결정 지원을 위한 육군 분석평가체계 발전방안 분석계획," 2017. 10. 13

할 필요가 있다. 셋째, 현재 운영되고 있는 분석평가 관련 교육기관의 교육체계가 많이 다르기 때문에 어느 정도 교육과정의 통일을 위한 노력이 필요하다. 마지막으로, 현재 합참 및 각 군에서 다양한 분야에서 다수의 분석평가 업무를 하고 있고 분석평가 업무가 시작된 이래로 누적된 분석평가 업무의 양은 어마할 것이다. 하지만, 이런 분석평가 결과를 공유할 수 있는 자료공유체계가 미흡하여 과학적 업무수행에 제한이 따른다. 미 육군의 경우 무기 및 표적에 대한 M&S 데이터를 수집하는 전담기구인 JTCG-ME(Joint Technical Coordination Group for Munition Effectiveness)를 운영하고 있다. 향후 분석평가 결과를 데이터베이스화하여 서로의 분석결과를 공유하고 필요할 때 열람할 수 있도록 한다면 우리 군의 분석평가 질을 한층 더 향상될 것이다.

[요약]

본 보고서는 분석평가 업무의 전문성 및 객관성 향상을 위한 방안으로써 교육체계의 발전관점에서 연구를 진행하였다. 현재 국방부는 국방개혁2.0을 강력하게 추진하고 있다. 국방개혁2.0이 요구하는 군의 슬림화 및 효율화를 위해 제대별 조직 편성의 최적화 소요가 증대될 것이며, 미래 무기체계, 군 구조개편, 작전계획 발전, 주요 정책 수립 등 분석평가에 의한 과학적 검증 요구가 증대될 것이다. 분석평가는 정책결정과정에서 과학적이고 객관적인 자료를 제공함으로써 의사결정권자의 결심을 보좌하는 핵심적인 기능을 수행한다. 현재 우리군은 여러 기관에서 분석평가 관련 교육과정을 개설하여 운영을 하고 있지만 분석평가 자체에만 중점을 둔 전문교육기관은 부재한 실정이며 각 교육기관별 교육체계도 서로 상이한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 분석평가 업무의 전문성 및 객관성 향상을 위한 가장 효율적인 접근방법이 교육체계의 개선에 있다고 보고 연구를 진행하였다.

본문에서는 우선 합참을 비롯한 각 군의 분석평가 임무를 분석하였으며, 우리 군은 다양한 분야에서 다양한 방법으로 분석평가를 수행하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이어서 다양한 분석평가 업무를 수행하기 위해서 활용되는 비용분석, 비용대 효과분석, 다수준 의사결정방법론, M&S(Modeling & Simulation) 분석, 최적화 기법 등 대표적인 분석평가 방법론을 소개한다. 분석평가 전문가 양성에 필요한 다양한 방법론들을 어떤 방법으로 교육하는지를 알기 위해서 국내 4곳의 분석평가 교육기관과 미국의 국방획득대학(DAU: Defense Acquisition University)의 분석평가 관련 과목들을 분석하였다. 마지막으로 현재의 교육체계로는 다양한 분석평가 업무 추진을 위한 분석

평가 방법에 한계가 있음을 제시하고 국방무기체계 획득절차와 국방기획관리제도와 연계된 분석평가 임무를 도출하고 이와 관련된 교육과목들을 선정하고 제시하였다.

본 연구보고서를 통해서 각 군별 상이한 분석평가 업무에 대한 정의를 통일하고 미래 분석평가 전문가 양성을 위해서 교육체계를 어떻게 구축해야 할 것인가에 대한 아이디어를 제공하였으며, 향후 추진될 국방획득 전문교육기관 설립 시 분석평가 분야 과정 설립에 참고가 될 것으로 기대한다.

| 참 고 문 헌 |

[1] 공군규정 12-6, “분석평가 및 야전운용시험업무,” 2018. 7. 2
[2] 국방과학연구소 홈페이지(http:/www.add.re.kr/)
[3] 국방대학교 홈페이지(http:/www.kndu.ac.kr/)
[4] 국방부 훈령 제1768호, “국방기획관리기본훈령,” 2015. 1. 9.
[5] 국방부 훈령 제 1825호, “국방전력발전업무훈령,” 2015. 8. 27.
[6] 방위사업청, “M&S 적용 매뉴얼,” 2017. 8. 23.
[7] 방위사업청 예규 제240호, “분석평가업무 실무지침서,” 2014. 7. 29.
[8] 방위사업청 홈페이지(http:/www.dapa.go.kr/)
[9] 안보경영연구원, “국방획득 전문교육기관 설립방안 연구,” 2016. 5
[10] 해군규정 제 443호, “해군분석평가규정,” 2015. 1. 23.
[11] 육군규정 061, “분석평가규정,” 2015. 8. 1.
[12] 육군 분석평가단, “분석평가 길라잡이,” 2010. 6. 18.
[13] 한국방위사업진흥회 홈페이지 (http://www.kdia.or.kr)
[14] 한국산업관계연구원, “방위사업 전문교육기관 설립 방안 연구,” 2014. 11.
[15] 합참규정-452-01, “분석평가업무규정,” 2017. 6. 13.
[16] 조경익, “무기체계 분석평가 내실화 방안,” 군사연구 제 122호