

# 군사과학기술정책연구

## Military Science & Technology Annual Report

### 연구논문

- 무기체계 SW 신뢰성 향상방안 연구: 강동수
- 미래 개인전투체계 발전 방안: 김경수
- 기계학습 이론의 국방 분야 적용방안 연구: 김수환



국 방 대 학 교  
안 보 문 제 연구 소

ISSN 1976-5967

제9권

2016년 12월

# 군사과학기술정책연구

Military Science & Technology Annual Report

## 연구논문

무기체계 SW 신뢰성 향상방안 연구 ..... 강동수

미래 개인전투체계 발전 방안 ..... 김경수

기계학습 이론의 국방 분야 적용방안 연구 ..... 김수환

국방대학교 안보문제연구소



연·구·보·고 2·0·1·6

---

# 무기체계 SW 신뢰성 향상방안 연구

강 동 수  
(국방대학교 교수)

2016. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	1
제1장 연구 개요 .....	2
제1절 연구 배경 및 필요성 .....	2
제2절 연구 목표 및 범위 .....	5
제3절 연구 수행방법 및 기대효과 .....	6
제2장 무기체계 SW 개념 및 실패 사례 .....	7
제1절 무기체계 소프트웨어 개념 .....	7
제2절 고신뢰 소프트웨어 실패 사례 .....	12
제3장 소프트웨어 품질과 신뢰성 .....	18
제1절 소프트웨어 품질 .....	18
제2절 소프트웨어 신뢰성 .....	20
제4장 무기체계 SW 신뢰성 개념 및 분석 .....	29
제1절 무기체계 SW 신뢰성 개념 .....	29
제2절 무기체계 SW 신뢰성 제도 분석 .....	33
제3절 무기체계 SW 신뢰성 향상 방안 .....	38
제5장 결 론 .....	48

## 〈그림 목 차〉

〈그림 1〉 무기체계 소프트웨어 워드 클라우드 .....	2
〈그림 2〉 소프트웨어를 이용한 무기체계 기능구현 사례 .....	3
〈그림 3〉 국방 소프트웨어 기술수준 .....	4
〈그림 4〉 시스템에서의 소프트웨어 비중 .....	7
〈그림 5〉 SW구성 및 운영체제 기능 .....	10
〈그림 6〉 소프트웨어 구성요소 관계 .....	11
〈그림 7〉 Scud와 Patriot .....	12
〈그림 8〉 Patriot 미사일 방어 단계 .....	13
〈그림 9〉 폭발사고 시간 경과 .....	15
〈그림 10〉 전자적 스톱 제어원리 .....	17
〈그림 11〉 소프트웨어 신뢰성 속성 .....	20
〈그림 12〉 IEEE STD 1633 소프트웨어 신뢰성 절차 .....	21
〈그림 13〉 복잡도 측정 방법 .....	26
〈그림 14〉 COQUALMO 개념 .....	28
〈그림 15〉 무기체계의 RAM .....	29
〈그림 16〉 함정 RAM 목표값 설정 및 할당(예시) .....	30
〈그림 17〉 OMS/MP를 통한 RAM 목표값 설정(예시) .....	30
〈그림 18〉 하드웨어 신뢰성 Bathtub 곡선 .....	32
〈그림 19〉 소프트웨어 신뢰성 Bathtub 곡선 .....	32
〈그림 20〉 무기체계 소프트웨어 개발단계 및 산출물 .....	35
〈그림 21〉 Goal-Question-Metric (GQM) .....	39
〈그림 22〉 소프트웨어 신뢰성 메트릭 .....	40
〈그림 23〉 소프트웨어 신뢰성 평가 모델 .....	41
〈그림 24〉 SW 개발단계별 신뢰성 예측과 추정 .....	41

〈그림 25〉 소프트웨어 개발수명에서의 신뢰성 모델 분류 .....	43
〈그림 26〉 소프트웨어 개발 생명주기와 테스트 .....	44
〈그림 27〉 소프트웨어 테스트 분류 .....	45
〈그림 28〉 소프트웨어 실행률 예시 .....	46

## 〈표 목 차〉

〈표 1〉 주요국 기술수준 .....	9
〈표 2〉 국방SW체계 요소기술별 기술수준 .....	9
〈표 3〉 소프트웨어 프로세스 인증제도 .....	19
〈표 4〉 소프트웨어 제품 인증제도 .....	19
〈표 5〉 국내외 산업별 내장형 소프트웨어 신뢰성 활동 .....	35
〈표 6〉 신뢰성 시험 대상 소프트웨어 .....	36

## 요 약 문

무기체계에서 소프트웨어로 구현되는 기능의 비중이 증가하고 있으며, 전투기의 경우 SW로 구현되는 기능은 1960년대 생산된 F-4는 임무기능의 8%가 SW에 의해 수행되었지만, 2007년에 생산된 F-35 전투기의 경우 90%가 SW에 의해 기능이 구현되고 있다.

소프트웨어 규모는 F-35 전투기의 경우 18,200KSLOC (Thousand Source Lines of Code), 국내에서 개발된 전차의 경우에도 1999년 K9 자주포는 120 KSLOC에서 2007년 K2 전차는 620 KSLOC 구현되어 복잡해지고 있다. 이러한 무기체계 소프트웨어는 전투나 전쟁을 수행하는 체계이므로 원하는 시간이나 환경조건에서 지속적으로 성능을 발휘할 수 있어야 하며, 시스템이 예상치 않게 정지하거나 중단하는 일이 없는 최고의 품질을 유지하는 고신뢰성이 확보된 소프트웨어가 필요하다.

본 연구는 무기체계에서 소프트웨어의 고품질의 무기체계 소프트웨어 확보를 위해 고신뢰 소프트웨어 실패사례를 분석하고, 무기체계 소프트웨어 신뢰성 관련 제도를 분석하여 무기체계 소프트웨어 신뢰성 향상 방향을 제시하였다.

제시된 소프트웨어 무기체계 소프트웨어 신뢰성 정의, 무기체계 소프트웨어 개발수명주기를 고려한 신뢰성 메트릭 관리, 소프트웨어 신뢰성 예측과 추정을 위한 모델 개발, 소프트웨어 정적·동적 시험 기법 개발과 신뢰성 공학 프로세스 적용을 통해 무기체계 소프트웨어 신뢰성에 대한 관심과 연구 방향을 제시하고자 한다.

# 제1장 연구 개요

## 제1절 연구 배경 및 필요성

### 1. 연구배경

- 전투기의 경우 F-35는 90% 이상의 기능을 소프트웨어로 구현하고 있고, 자동차의 경우도 40%에 이르는 기능을 소프트웨어에 의지하고 있으며, 이러한 추세는 정밀한 시스템일수록 더욱더 소프트웨어의 비중이 증대되고 있음을 알 수 있으며, 미래로 갈수록 심화 될 것임.



〈그림 1〉 무기체계 소프트웨어 워드 클라우드

- (고신뢰 소프트웨어공학 기술의 중요성) 소프트웨어가 모든 사업발전의 원동력으로서의 역할을 담당하게 되면서 품질 및 신뢰성의 중요성이 더욱더 강조됨.

- 잘못된 시스템 설계에 의한 사고의 예

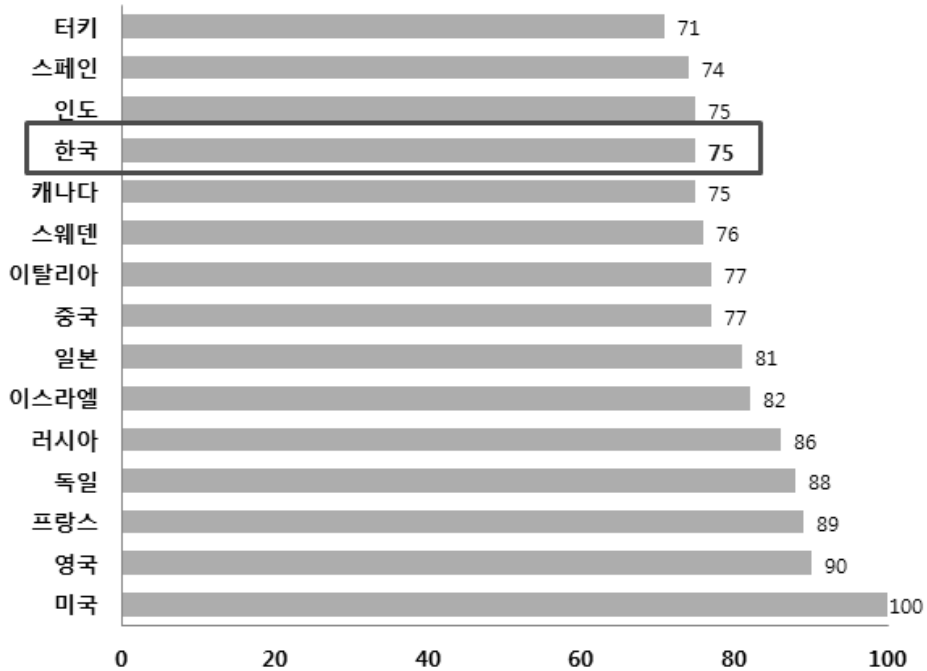
- 1985-87년 사이에 제작된 의료형 방사선 선형 가속기인 Therac-25의 설계 잘못으로 인해 적어도 2명의 환자가 방사선 과다조사로 사망
- 1991년 걸프전 당시 패트리엇 미사일의 제어 소프트웨어 이상으로 스커드 요격에 실패, 28명의 사상과 98명의 부상자 발생
- 1994년 인텔의 펜티엄 프로세서의 부동소수점 연산 오류는 5억 달러의 손실을 발생
- 1996년 유럽 항공국의 Arian5 로켓 발사 시 부동 소수점 변환문제로 야기된 컴퓨터의 오류로 발사 37초 만에 추락함
- 2003년 미국 뉴욕시 정전 사태는 전력 수요 과부하에 따른 파급효과 해석의 오류로 인하여 발생하였으며, 1250만 가구 60억 달러의 경제적 손실을 야기

○ (무기체계에서 소프트웨어 비중 증가) 전투기의 경우 SW로 구현되는 기능은 1960년대 생산된 F-4는 임무기능의 8%가 SW에 의해 수행되었지만, 2007년에 생산된 F-35 전투기의 경우 90%가 SW에 의해 기능이 구현됨. 기능 구현 사례는 <그림 2>와 같음.



<그림 2> 소프트웨어를 이용한 무기체계 기능구현 사례

- **(국방 소프트웨어 기술수준)** 국방기술 수준조사서에 따르면, <그림3>과 같이 우리나라의 국방 소프트웨어 기술수준은 2015년 기준 주요 16개국 중 12위로 무기체계 개발 시 소프트웨어 기술발전을 위해 많은 노력이 요구1)



〈그림 3〉 국방 소프트웨어 기술수준

- **(최고의 품질을 유지하는 신뢰성이 확보된 소프트웨어 필요)** 무기체계 소프트웨어는 전투나 전쟁을 수행하는 체계이므로 원하는 시간이나 환경조건에서 지속적으로 성능을 발휘할 수 있어야 하며, 시스템이 예상치 않게 정지하거나 중단하는 일이 없어야 함.
- 무기체계 신뢰성 확보가 중요한 사항으로 대두되어 고신뢰성의 소프트웨어를 획득하기 위하여 무기체계 소프트웨어 신뢰성 분석 및 평가 기술이 요구되고 있으며, 신뢰성 모델 기술이 발전될 전망이다.

1) 국방기술품질원. (2015.11), 『국가별 국방기술 수준조사서』. pp. 633.

## 제2절 연구 목표 및 범위

### 1. 연구목표

본 연구의 목적은

- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 개념
- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 제도 및 실태 분석
- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 향상 방안

☞ 무기체계 소프트웨어의 신뢰성 개념 정립 및 향상 방향 도출

2. 연구기간 : 2016. 7. 1. ~ 2016.10.31. / 4개월

### 3. 연구 범위

- 모든 연구는 무기체계 소프트웨어와 관련된 공개된 자료(일반)만 이용
- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 정책/제도 분석
- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 향상 방안 제시
- 제시된 방안에 대한 검증은 포함하지 않음

## 제3절 연구 수행방법 및 기대효과

### 1. 연구 수행방법

- (방법1) 신뢰성 관련 표준과 現 무기체계 SW 신뢰성 정책/제도 분석
  - 국내외 여러 산업분야 관련 표준 및 기술을 무기체계 SW 신뢰성 제도에 적용할 수 있도록 현 정책/제도 분석
- (방법2) 국·내외 고신뢰 SW(무기체계 SW 포함) 실패 사례 분석
  - 국내외 소프트웨어 신뢰성 문제 야기 사례 분석
- (방법3) 국·내외 소프트웨어 신뢰성 표준·기술을 분석하여 무기체계 소프트웨어에 적용 발전 방향 도출
  - 국내외 소프트웨어 신뢰성 기술을 분석하여 적용 가능 방안 도출
- (방법4) 무기체계 소프트웨어 관련분야 전문가 토의

### 2. 기대 효과

- 기대효과
  - 무기체계 소프트웨어 신뢰성 개념 정립
  - 무기체계 소프트웨어 신뢰성 실태분석을 통한 정책/제도 개선 도출
  - 무기체계 소프트웨어 특성에 맞는 신뢰성 기술 연구
- 연구결과 활용
  - 활용분야 : 무기체계 소프트웨어 신뢰성(품질) 향상
  - 활용부서 : 국방부·방사청·각 군·연구기관의 소프트웨어 관련 부서

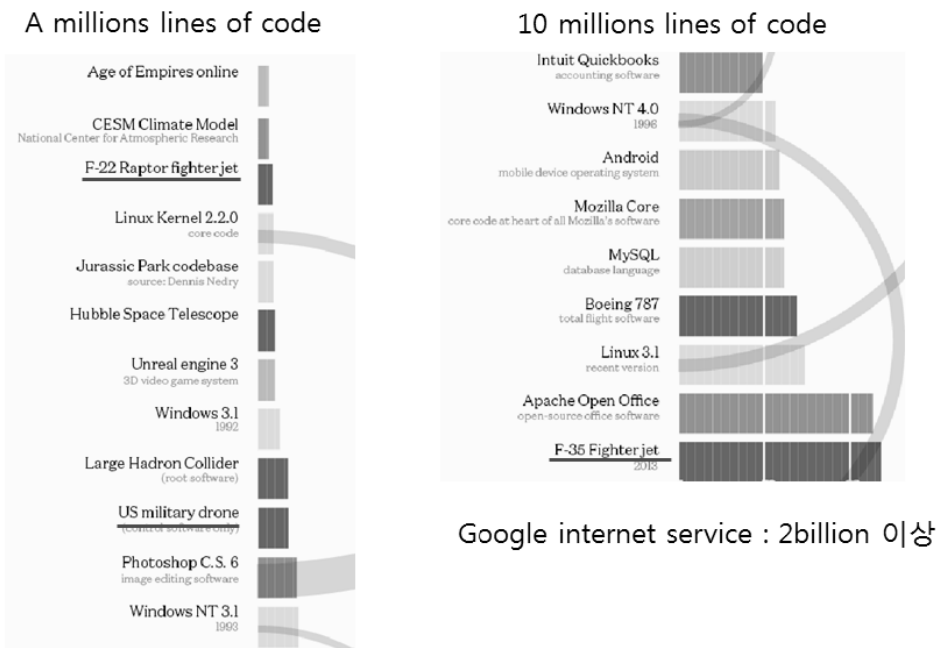
## 제2장 무기체계 SW 개념 및 실패 사례

### 제1절 무기체계 소프트웨어 개념

#### 1. 개념 및 특징

##### 가. 무기체계 소프트웨어 개념

- (소프트웨어) 실행 가능한 컴퓨터 명령어들의 집합으로 그 프로그램과 개발에 필요한 문서들과 산출물을 의미. 국방 분야에서 소프트웨어는 운영되고 있는 무기체계와 정보체계에 기능을 구현하는 수단으로 사용하고 있음. 시스템에서 소프트웨어 비중은 <그림 4>와 같음.



이미지 출처 : <http://www.informationisbeautiful.net/visualizations/million-lines-of-code/>

<그림 4> 시스템에서의 소프트웨어 비중

- **(무기체계 소프트웨어)** 함정, 전차, 전투기 등 무기 플랫폼에 탑재되어 운영되는 소프트웨어와 감시체계와 타격체계를 연동하여 전투력의 승수효과를 최대로 발휘할 수 있도록 구축하는 C4I(Command, Control, Communication, Computer & Intelligence)와 같은 전장관리정보체계에 사용되는 소프트웨어를 의미함.
- **(소프트웨어 규모)** F-35 전투기의 경우 18,200KSLOC (Thousand Source Lines of Code). 국내에서 개발된 전차의 경우에도 1999년 K9 자주포는 120KSLOC에서 2007년 K2 전차는 620KSLOC 구현됨.

#### 나. 무기체계 소프트웨어 특징

- **(실시간 운영체계)** 무기체계의 임무와 관련된 기능들은 어떠한 조건과 환경 속에서도 반드시 주어진 시간 내에 부여된 기능을 정확히 수행되어야 하며, 무기체계의 운영체제는 불과 수십 마이크로세컨드( $\mu s$ )가 요구되는 경성 실시간(Hard Real-time) 체계가 대부분임. THAAD운영체제의 경우 5마이크로세컨드( $\mu s$ )의 반응시간을 요구함.
- **(높은 가용도 유지)** 전쟁을 위한 무기체계에 필요한 중요한 특성 중 하나는 불안정하고, 긴급한 전장 환경 속에서 고도의 신뢰도와 거의 100%에 가까운 운용 가용도를 필요로 함.
- **(신뢰성 확보)** 무기체계 소프트웨어는 전투나 전쟁을 수행하는 체계이므로 원하는 시간이나 환경조건에서 지속적으로 성능을 발휘할 수 있어야 하며, 시스템이 예상치 않게 정지하거나 중단하는 일이 없어야 함.
- **(상호운용성 보장)** 상용 소프트웨어는 단일 체계로 운영되어지나 무기체계는 단일 체계보다는 서로 다른 체계와 연동이 되어 운영되는 복잡한 복합 시스템이기 때문에 상호운용성이 보장 되어야 하며, 무기체계 소프트웨어는 복잡한 여러 시스템을 다룰 수 있도록 설계됨에 따라 이들을 지원하는 컴퓨터시스템은 많은 구성품들과 데이터를 교환이 보장되어야 함.

다. 주요 기술 및 국내 수준

- **(국방 소프트웨어 기술수준)** 국방기술 수준조사서에 따르면, 우리나라의 국방 소프트웨어 기술수준은 <표 1>과 같이 2015년 기준 주요 16개국 중 12위로 무기체계 개발 시 소프트웨어 기술 발전을 위해 많은 노력이 요구되고 있다. 미국을 100%로 봤을 때 우리는 75%의 기술 수준을 유지하고 있으며, 인도와 비슷한 기술력을 확보하고 있는 것으로 조사 되어 잠재역량이 많은 분야임.

<표 1> 주요국 기술수준

국 가	미 국	영 국	프 랑 스	독 일	러 시 아	이 스 라 엘	일 본	중 국	이 탈 리 아	스 웨 덴	캐 나 다	한 국	인 도	스 페 인	터 키	남 아 공
기술수준(%)	100	90	89	89	88	86	82	81	77	77	76	75	75	74	71	70

\* 국방기술품질원. (2015.11), 『국가별 국방기술 수준조사서』. p. 633.

- **(요소별 기술수준)** 국방 소프트웨어의 요소별 기술수준은 <표 2>와 같이 플랫폼 개발 및 시스템 분야에서 어플리케이션 대비 상대적으로 낮은 기술수준을 보이고 있음, 2010년 대비 소프트웨어 어플리케이션, 소프트웨어 미들웨어, 소프트웨어 개발 도구 기술 수준이 상승하여 기술수준이 올라갔으며, 소프트웨어 공학기술은 소프트웨어 신뢰성 모델 연구, 개발 프로세스 개선 등 무기체계 신뢰성 향상을 위해 지속 노력하여 기술 수준이 상승하고 있음.2)

<표 2> 국방SW체계 요소기술별 기술수준

구 분	2010년 요소기술별 수준	2013년 요소기술별 수준
SW 어플리케이션	80	84
SW 미들웨어	75	77
시스템 SW	70	71
SW 개발도구	70	74
SW 플랫폼	70	69
SW 공학기술	65	70

2) 국방기술품질원. (2013), 『국방기술조사서 일반본 제9권』. p.123.  
2015년에는 요소기술별 기술수준은 조사되지 않음

- **(소프트웨어 분류)** 무기체계에 사용되는 소프트웨어 기술은 <그림 5>와 같이 통상 운영체제(Operating System), 미들웨어(Middle ware), 응용소프트웨어(Applications)에 사용되는 기술로 구분됨.
- **(운영체제)** 컴퓨터를 작동시키고, 응용 소프트웨어가 효율적으로 실행될 수 있도록 환경을 제공하는 기본 프로그램으로 대표적으로 Window, Linux, VxWorks가 있으며, 국내 기술수준이 상대적으로 낮은 분야임.
- **(미들웨어)** 운영체제와 응용 소프트웨어 사이에서 매개역할을 하는 중간 프로그램으로 DDS(Data Distribution System)와 M&S(Modeling and Simulation) 분야에서 HLA(High Level Architecture)구현을 위해 사용되어지는 RTI(Runtime Infrastructure) 등이 사용됨. 응용소프트웨어는 특정한 기능을 수행하도록 만들어진 프로그램으로 자동제어, 사격통제 등의 소프트웨어가 있음.
- **(어플리케이션)** 사용자가 직접 사용하게 되는 소프트웨어로 운영체제에서 실행되며 사용자 요구사항에 적합한 기능 및 성능을 구현하는 소프트웨어임.



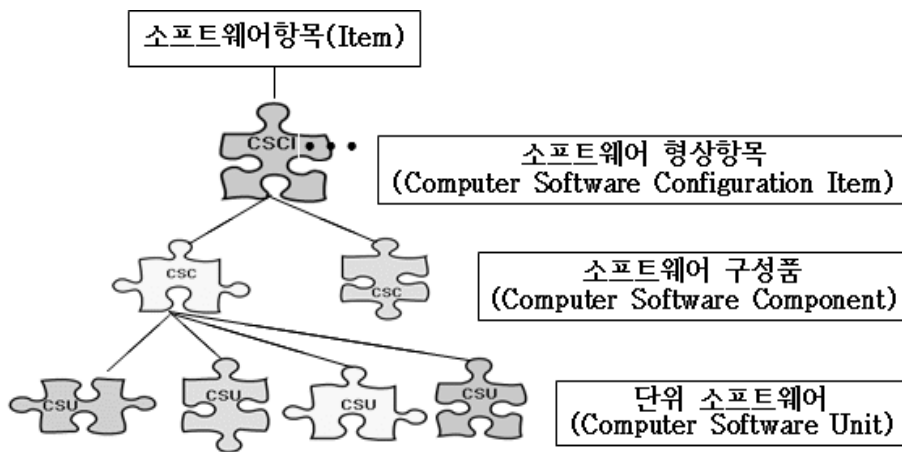
<그림 5> SW구성 및 운영체제 기능

라. 무기체계 SW 개발절차

- **(무기체계 SW 획득 절차)** 탐색개발, 체계개발, 운용시험평가, 설치, 규격 과정을 걸쳐 소프트웨어가 획득되고, 체계개발 중 체계요구사항을 분석하여 소프트웨어 요구사항을 도출하고, 소프트웨어 설계, 구현, 시험의 과정을 거쳐 소프트웨어가 획득되어 지고 있음.

○ (무기체계 소프트웨어 구분) 소프트웨어는 단위 소프트웨어, 소프트웨어 구성품, 소프트웨어 형상항목으로 구성하고 분류되어 관리되고 소프트웨어 구성요소 관계는 <그림 6>과 같음.

- 단위 소프트웨어(CSU : Computer Software Unit)는 소프트웨어 구성품 설계단계에서 구체화되는 구성요소로서 분리되어 시험할 수 있는 최소단위의 소프트웨어
- 소프트웨어 구성품(CSC : Computer Software Component)이라 함은 소프트웨어 형상항목의 구성요소로서 단위 소프트웨어로 세분
- 소프트웨어 형상항목(CSCI : Computer Software Configuration Item)은 최종 사용 기능을 만족하고, 획득기관이 형상 관리를 위해 분리한 소프트웨어 집합체로서 기능, 크기, 군수지원 개념, 재사용 계획, 중요도, 상호운용성, 별도 통제 및 문서화 필요성 등의 요소를 고려하여 선정한 소프트웨어



<그림 6> 소프트웨어 구성요소 관계

이미지 출처 : 방위사업청, 무기체계 SW 개발 및 관리 매뉴얼, 2016.

## 제2절 고신뢰 소프트웨어 실패 사례

### 1. Patriot Missile Defense의 소프트웨어 문제

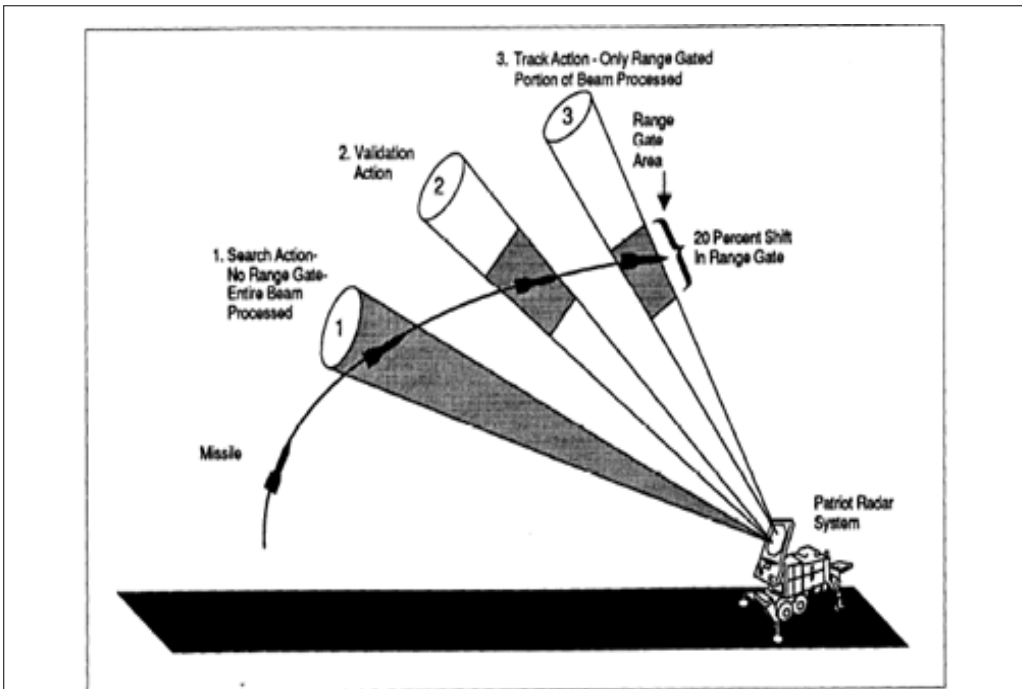
#### ○ (사례 연구) Patriot Missile Defense 소프트웨어

- 사건일시/장소 : 1991. 2. 25. 20:40, Saudi Arabia, Dhahran
- 내 용 : 이라크 스커드 미사일이 다하란 막사에 떨어져  
2명 사망, 98명 부상
- 오류내용 : 패트리엇 방어체제는 4일 동안 작동하면서 0.34초 시간 지연  
(정보표현 방법인 진수변환에 대한 미고려 소프트웨어 오류)<sup>3)</sup>
- Al-Hussein(Scud) 제원 : Range(600km), Payload(1,100lb),  
Speed(5mach), Error range(1.5~3km)

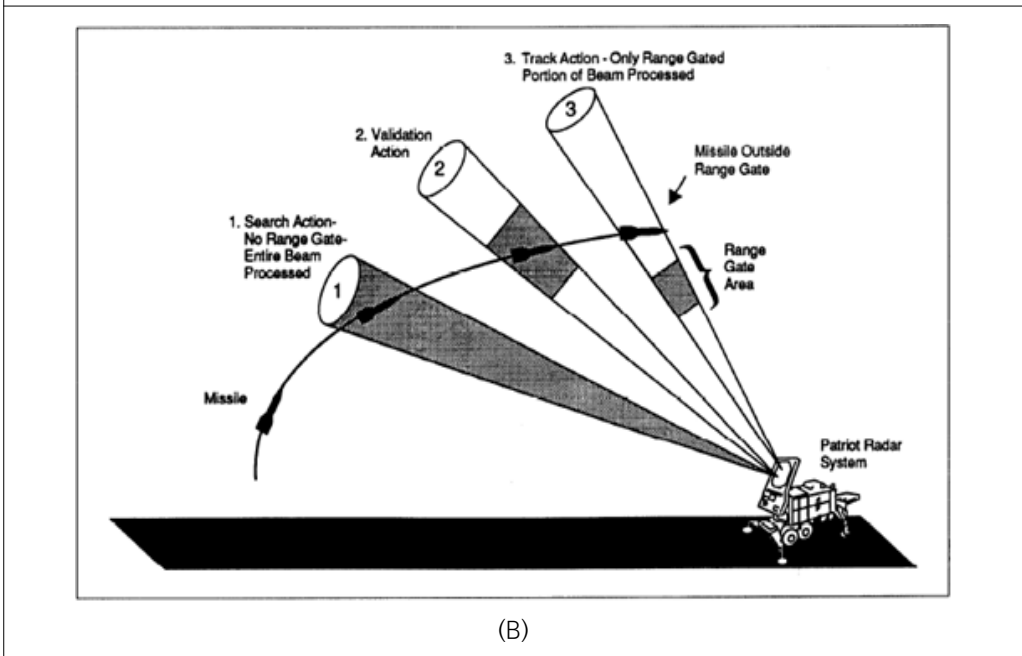


〈그림 7〉 Scud와 Patriot

3) GAO Report, Patriot Missile Defense, Software Problem Led to System Failure at Dhahran, Saudi Arabia. 보고서 재정리.



(A)



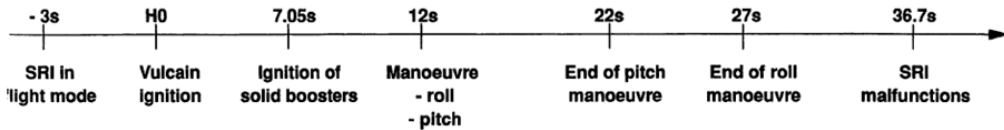
(B)

<그림 8> Patriot 미사일 방어 단계

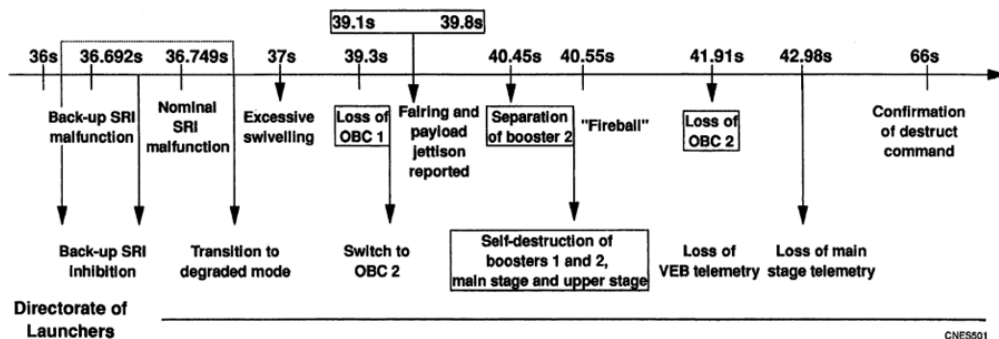


○ 아래안 5 로켓의 폭발사고 시간경과는 <그림 9>와 같으며 OBC (Onboard Computer)가 제어 이상으로 SRI1 중지 및 SRI2 오버플로우에 의해 폭발 사고가 발생함.

▪ **Nominal flight**



▪ **Accident**



<그림 9> 폭발사고 시간 경과

이미지 출처 : Ariane Injury Board Report

**원인 분석)**

- 1 SRI(Inertial Reference System) : Rocket의 현 고도와 속도를 측정
- 2 OBC(Onboard Computer)가 제어
- 3 SRI1 중지
- 4 SRI2 64 bit floating point number → 16 bit signed integer  
=> Overflow

" The floating point number that was converted had a value grater than 32,768, the maximal value that could be represented using 16 bits, thus the conversion failed. Furthermore, since the backup system was running the same software, it could not prevent the failure."

1Byte : 최소 0<sub>(2)</sub> ~ 최대 11111111<sub>(2)</sub> = 255<sub>(10)</sub>

2Byte : 최소 0<sub>(2)</sub> ~ 최대 111111111 11111111<sub>(2)</sub> = 65535<sub>(10)</sub>

IEEE 754 : half(16bit), Single(32bit), Double(64bit), Quad(128bit)

ARM 컴파일러 : Byte(8bit/char), Word(32bit/short), Integer(32bit/int), IEEE single-precision(32bit/float), IEEE double-precision(64bit/double), 64 bit integer(64bit/long long)

※ 정보표현 단위 (출처 : wikipedia)

Prefixes for multiples of bits (b) or bytes (B)				
Decimal		Binary		
Value	SI	Value	IEC	JEDEC
1000	k kilo	1024	Ki kibi	K kilo
1000 <sup>2</sup>	M mega	1024 <sup>2</sup>	Mi mebi	M mega
1000 <sup>3</sup>	G giga	1024 <sup>3</sup>	Gi gibib	G giga
1000 <sup>4</sup>	T tera	1024 <sup>4</sup>	Ti tebi	-
1000 <sup>5</sup>	P peta	1024 <sup>5</sup>	Pi pebi	-
1000 <sup>6</sup>	E exa	1024 <sup>6</sup>	Ei exbi	-
1000 <sup>7</sup>	Z zetta	1024 <sup>7</sup>	Zi zebi	-
1000 <sup>8</sup>	Y yotta	1024 <sup>8</sup>	Yi yobi	-

### 3. 도요타 프리우스 급발진 사고

#### ○ 개요

- 2009년부터 2010년까지 발생한 급발진과 관련된 도요타의 리콜사태
- 2009년 8월 28일 일어났던 일가족 넷을 태운 렉서스 ES350이 125마일(195km/h)의 속도로 질주하다 추락, 일가족 4명이 사망한 사건
- \* 사고 당시 운전자가 911에 신고한 기록

#### ○ (사고원인) 사고와 관련된 원인 중 하나는 ETCS(Electronic Throttle Control Sytem) 소프트웨어 오류

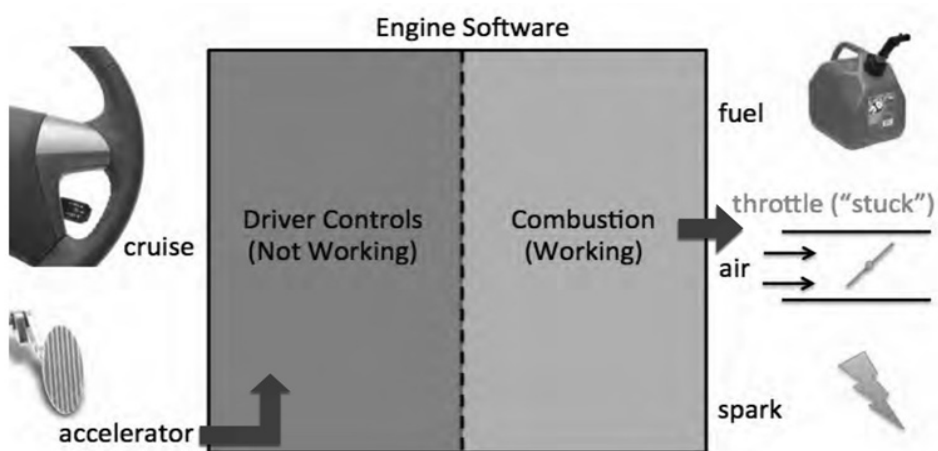
- Cyclomatic Complexity 50이상 : 67개
- ※ 복잡도 50이상이면 통상적으로 Risk가 있는 것으로 봄

- Global Variable 사용 : 10,000개(과도한 사용)
- 343개의 Switch문 중 105개가 default 케이스가 없이 사용

※ 무기체계 소프트웨어 소스코드 메트릭(Code Metrics) 점검 기준

메트릭 종류	제한값	비 고
Cyclomatic Complexity	20이하	
Number of Call Levels	6이하	함수 내 조건문의 최대 증첩(Nesting)의 깊이
Number of Function Parameters	8이하	
Number of Calling Functions	8이하	이 함수가 몇 개의 다른 함수에 의해 호출되는가?
Number of Called Functions	10이하	이 함수가 몇 개의 다른 함수를 호출 하는가? * 같은 함수를 호출시는 1로 계산
Number of Executable Code Lines	200이하	

○ 전자적 스로틀 제어(Electronic Throttle Control)는 <그림 10>과 같이 전자적 스로틀의 제어 오류로 사고가 발생함.



<그림 10> 전자적 스로틀 제어원리

이미지 출처 : Barr 그룹 조사보고서

## 제3장 소프트웨어 품질과 신뢰성

### 제1절 소프트웨어 품질

#### 1. 소프트웨어 품질

- **(소프트웨어 품질)** 어원적 의미인 소프트웨어 제품을 우수하게 만들거나, 관련 표준에서 제시하는 요구사항을 만족시키는 기능 또는 능력이라고 할 수 있을 것을 의미함.<sup>4)</sup>

- \* IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) : 소프트웨어 품질을 주어진 요구사항을 만족시킬 수 있는 소프트웨어의 기능 및 특성

- \* ISO(International Standard Organization) 요구를 만족시키는 위한 소프트웨어 제품이나 서비스의 능력과 특성

- **(소프트웨어 품질 활동)** 소프트웨어 개발관점에서 보면 상용자의 요구에 맞추어 소프트웨어가 작동(제품 중심/사용자)하고, 개발단계별 가이드라인이 존재하고 산출물의 추적성(Traceability)이 유지(프로세스 중심/개발자)되고, 신뢰성, 기능성, 사용성 및 효율성 등 품질특성을 만족(품질특성 중심/표준)하는 품질활동을 의미함.

- 소프트웨어 품질속성은 ISO/IEC 9126 Software Quality에서 System and SW Quality Requirements and Evaluation (ISO/IEC 25010)로 변화됨.

- ISO 9126 : 신뢰성(성숙성, 결함수용성, 복구용이성, 준수성)

- ISO 26010 : 신뢰성(성숙성, 결함수용성, 복구용이성, 가용성)

#### 2. 국내 · 외 소프트웨어 품질인증 제도

- **(소프트웨어 품질인증 방법)** 소프트웨어 제품자체의 품질을 인증하는 방법과 소프트웨어 개발주관조직의 조직구성, 개발절차 및 업무수행 체계 등을 인증하는 프로세스 인증이 있음.

---

4) 강동수. (2013). “무기체계 품질과 소프트웨어 개발 프로세스.” 『아웃리치』, Vol.59. 방위사업청. pp.14-17.에서 소프트웨어 품질 내용을 재정리함.

- **(소프트웨어 프로세스 품질인증)** 프로세스 인증제도는 <표 3>에 나타나 있듯이 SP (Software Process), CMMI(Capability Maturity Model Integration)와 SPICE (Software Process Improvement Capability dEtermination) 같은 인증제도가 있음.

<표 3> 소프트웨어 프로세스 인증제도

구 분		SP	CMMI	SPICE
기준	주 관	미래부	CMMI 협회(미국)	ISO/IEC
	특 징	국내기준	시장표준(미국)	국제표준
인증	인증부여	정부 (NIPA)	선임심사원	선임심사원
	인증관리	정부 (NIPA)	CMMI 협회 (미국)	ISO/IEC
	유효기간	3년	3년	없음
	단 계	3단계	5단계	6단계

- **(소프트웨어 제품 품질인증)** 소프트웨어 제품 자체의 품질을 인증하여 주는 품질 인증 제도로 <표 4>와 같이 소프트웨어산업진흥법에 따른 국내에서 개발된 우수 소프트웨어에 주어지는 GS(Good Software) 인증과 정보보호제품이 받아야 하는 CC(Common Criteria) 인증 등이 있음.

<표 4> 소프트웨어 제품 인증제도

구 분	GS (Good Software)	CC (Common Criteria)
근 거	소프트웨어산업진흥법	국가정보화기본법
인증 기관	한국산업기술시험원 한국정보통신기술협회	국정원 한국정보통신기술협회
목 적	국내 SW산업 활성화	신뢰성 검증
대 상	개발된 우수 SW	정보보호제품
유효 기간	영구	3년
혜 택	제품 우선구매 제도	없음 (강제 인증)

## 제2절 소프트웨어 신뢰성

### 1. 소프트웨어 신뢰성

- **(접근방식)** 무기체계 소프트웨어 신뢰성은 단순히 일정시간에 규격화된 요구사항에 따라 작동하는 신뢰성(Reliability)의 문제가 아니라, <그림 11>과 같이 가용도(Availability), 안전(Safety)과 보안성(Security)의 요소를 같이 고려한 믿을 수 있는 소프트웨어에 대한 개념으로 접근하여야 함.

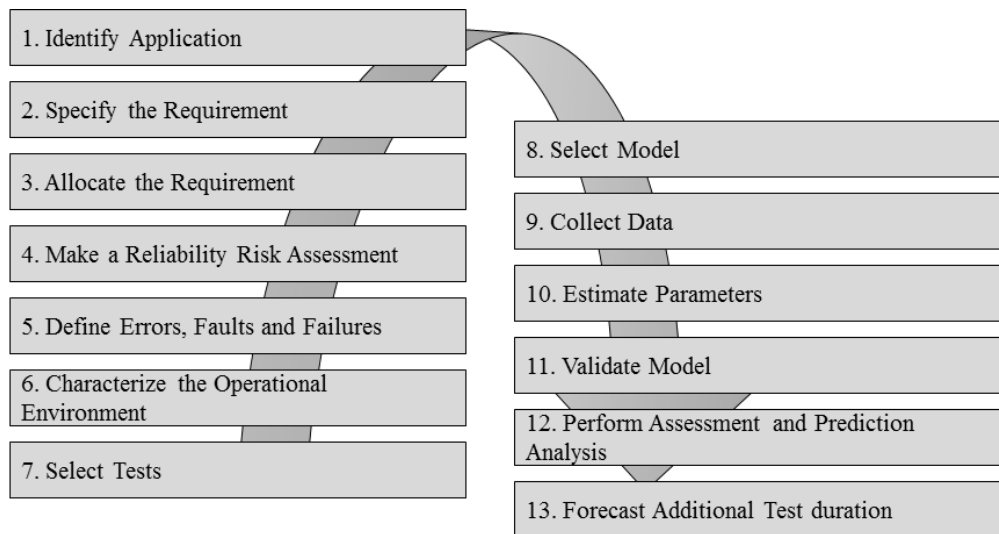
\* 용어(Dependability와 Reliability)에 대한 개념 정립 필요



<그림 11> 소프트웨어 신뢰성 속성

#### ○ 소프트웨어 신뢰성 관련 정의

- Michael R. Lyu (1996) (Handbook of Software Reliability Engineering)  
The probability of failure-free software operation for a specified period of time in a specified environment.
- IEEE STD 1633, IEEE Recommended Practice in Software Reliability (2008)  
The ability of a program to perform a required function under stated conditions for a stated period of time



〈그림 12〉 IEEE STD 1633 소프트웨어 신뢰성 절차

- IEEE 610.12.-1990 (IEEE Standard Glossary of SE Terminology)  
The ability of a system or component to perform its required functions under stated conditions for a specified period time
- IEEE 982.1.-2005 (IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software) The process of optimizing the reliability of software through program that emphasize software error prevention, fault detection and removal and use of measurements to maximize reliability in light of project constraints such as resources, schedule and performance

## 2. 소프트웨어 신뢰성 표준

### ○ 고신뢰 소프트웨어 기술 개발 국외 표준

- IEC 60300-1/2/3 (Dependability management)
  - 신뢰성 관리 시스템의 개념과 원칙을 설명하고, 계획, 자원 할당, 조절, 신뢰성 객체를 적절한 곳에 배치하기 위한 신뢰성에서의 일반적 절차를 제시하고, 신뢰성 분석 기술과 관련된 전체적인 내용을 다루고 있음.

- IEC 61713 (SW dependability through the SW life-cycle processes- Application guide)
  - 신뢰성 있는 SW 생명주기 활동을 위한 지침서로 언급된 활동들은 시스템이나 관련 있는 제품의 신뢰성을 위한 프로그램의 일부가 될 수 있음.
  - 지침서는 IEC 60300-3-6을 지원하도록 되어 있으며, 지침서는 구매자, 공급자, 개발자, 운영자, 유지 관리자에 의해 사용 가능함.

○ **고신뢰 소프트웨어 기술 개발 국내 표준**

- TTAS.KO-11.0062 (SW 신뢰성 측정)
  - 신뢰성의 정량적인 평가를 위한 방안을 제시하고, SW 신뢰성에 관련된 용어를 정리하여 SW 신뢰성 관점에서 개념을 정립함.
  - SW 신뢰성 성장 모델(Software Reliability Growth Model, SRGM)을 제안하고, 제안된 SW 신뢰성 성장 모델을 통해서 SW 신뢰성을 평가하는 방안을 제시함.
- TTAS.KO-10.0073/R1 (안전한 SW 운용을 위한 지침)
  - SW 보안에 있어 요구되는 보안기능과 보안 통제들을 항목별로 세부적으로 제시하였으며, 기관의 보안관리 대책 수립 시 기준으로 사용하고 각 조직에서 SW 보안대책을 수립하고자 할 경우, 고려하여야 할 보안사항들에 대한 지침을 제공함.

○ **소프트웨어 신뢰성 척도(measure) 표준**

- IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software (IEEE 982.1-1988) (폐지)
  - SW 신뢰성 관련 척도 39개 정의
- IEEE Guide for the Use of IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software (폐지)
  - IEEE Std 982.1-1988을 적용하기 위한 Guide 제공

- IEEE Standard Dictionary of Measures of the Software Aspects of Dependability (IEEE 982.1-2005) (개정)
  - 기존 IEEE 982.1, 2-1988을 개정하여 신뢰성보다 상위개념인 의존성 (Dependability) 관점에서 총 16개 척도 정의
  - 신뢰성 척도 12개 (신규 5개, 수정 4개, 유지 3개)
    1. Time to Next Failure
    2. Risk factor regression model
    3. Remaining failures
    4. Total test time to achieve specified remaining failures
    5. Network reliability
  - 유지보수성 척도 2개
    6. Mean time to repair
    7. Network maintainability
  - 가용성 척도 2개
    8. Availability
    9. Network availability
  - IEEE 982.1와 982.2 변화
    1. Fault Density (유지, 2005)
    2. Defect Density (수정, 2005)
    3. Cumulative failure profile(삭제, 2005)
    4. Fault-days number (삭제, 2005)
    5. Functional modular test coverage (수정, 2005)
    6. Cause and effect graphing (삭제, 2005)
    7. Requirements traceability (유지, 2005)
    8. Defect indices (삭제, 2005)
    9. Error distribution
    10. Software maturity index (삭제, 2005)
    11. Man hours per major defect detected (삭제, 2005)
    12. Number of conflicting requirements (삭제, 2005)
    13. Number of entries/exists per module (삭제, 2005)

14. Software science measures (삭제, 2005)
15. Graph-theoretic complexity for architecture (삭제, 2005)
16. Cyclomatic complexity (삭제, 2005)
17. Minimal unit test case determination (삭제, 2005)
18. Run reliability (삭제, 2005)
19. Design structure (삭제, 2005)
20. Mean time to discover the next K faults (삭제, 2005)
21. Software purity level (삭제, 2005)
22. Estimated number of faults remaining (삭제, 2005)
23. Requirements compliance (수정,2005)
24. Test coverage (삭제, 2005)
25. Data or information flow complexity (삭제, 2005)
26. Reliability growth function (삭제, 2005)
27. Residual fault count (삭제, 2005)
28. Failure analysis using elapsed time (삭제, 2005)
29. Testing sufficiency (삭제, 2005)
30. Mean time to failure (유지,2005)
31. Failure rate (수정,2005)
32. Software documentation &source listing (삭제, 2005)
33. RELY(Required Software Reliability) (삭제, 2005)
34. Software release readiness (삭제, 2005)
35. Completeness (삭제, 2005)
36. Test accuracy (삭제, 2005)
37. System performance reliability (삭제, 2005)
38. Independent process reliability (삭제, 2005)
39. Combined HW/SW system operational availability (삭제, 2005)

○ 소프트웨어 신뢰성 척도 표준인 IEEE Standard Dictionary of Measures to Produce Reliable Software (IEEE 982.1-1988)와 IEEE Standard Dictionary of Measures of the Software Aspects of Dependability (IEEE 982.1-2005) 비교

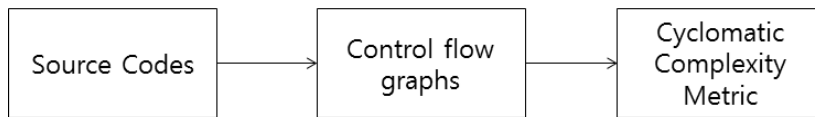
IEEE 982.1, 982.2(1988)	IEEE 982.1 (2005)
1. Fault Density (유지,2005)	1. Time to Next Failure
2. Defect Density (수정,2005)	2. Risk factor regression model
3. Cumulative failure profile(삭제, 2005)	3. Remaining failures
4. Fault-days number (삭제, 2005)	4. Total test time to achieve specified remaining failures
5. Functional modular test coverage (수정,2005)	5. Network reliability
6. Cause and effect graphing (삭제, 2005)	6. Mean time to repair
7. Requirements traceability (유지,2005)	7. Network maintainability
8. Defect indices (삭제, 2005)	8. Availability
9. Error distribution	9. Network availability
10. Software maturity index (삭제, 2005)	이하여백
11. Man hours per major defect detected (삭제, 2005)	
12. Numberf conflicting requirements (삭제, 2005)	
13. Numberf entries/exists per module (삭제, 2005)	
14. Software science measures (삭제, 2005)	
15. Graph-theoretic complexity for architecture (삭제, 2005)	
16. Cyclomatic complexity (삭제, 2005)	
17. Minimal unit test case determination (삭제, 2005)	
18. Run reliability (삭제, 2005)	
19. Design structure (삭제, 2005)	
20. Mean time to discover the next K faults (삭제, 2005)	
21. Software purity level (삭제, 2005)	
22. Estimated number of faults remaining (삭제, 2005)	
23. Requirements compliance (수정, 2005)	
24. Test coverage (삭제, 2005)	
25. Data or information flow complexity (삭제, 2005)	
26. Reliability growth function (삭제, 2005)	
27. Residual fault count (삭제, 2005)	
28. Failure analysis using elapsed time (삭제, 2005)	
29. Testing sufficiency (삭제, 2005)	
30. Mean time to failure (유지, 2005)	
31. Failure rate (수정,2005)	
32. Software documentation &source listing (삭제, 2005)	
33. RELY(Required Software Reliability) (삭제, 2005)	
34. Software release readiness (삭제, 2005)	
35. Completeness (삭제, 2005)	
36. Test accuracy (삭제, 2005)	
37. System performance reliability (삭제, 2005)	
38. Independent process reliability (삭제, 2005)	
39. Combined HW/SW system operational availability (삭제, 2005)	

### 3. 소프트웨어 신뢰성 공학 모델

- McCabe's Cyclomatic Complexity Metric은 1976년 개발된 McCabe의 Cyclomatic Complexity Metric은 결정 포인트를 산정하여 소프트웨어의 논리적 복잡도를 정량적으로 측정하는 기법으로 논리적 복잡도를 통하여 소프트웨어의 신뢰도를 간접적으로 판단할 수 있음. 복잡도 측정 방법은 <그림 13>과 같이 소스코드에서 플로우 그래프로 변환하고 복잡도 메트릭을 측정함.

$$v = e - n + 2p$$

- v : cyclomatic number
- e : number of edges
- n : number of vertices
- p : connected components



<그림 13> 복잡도 측정 방법

- Halstead's Software Metric은 1977년 개발되어 소프트웨어의 복잡도를 평가하는 잘 알려진 기법으로 연산자의 개수와 피연산자의 개수 그리고 소프트웨어 길이와 크기를 이용하여 측정함.

$$N = N_1 + N_2$$

$$V = N \log_2(n_1 + n_2) \text{ where } N_1 = n_1 \log_2 n_1, N_2 = n_2 \log_2 n_2$$

- $n_1$  = number of unique or distinct operators
- $n_2$  = number of unique or distinct operands
- $N_1$  = total number of operators
- $N_2$  = total number of operands
- $N$  = length of program
- $V$  = volume of program

- RL-TR-92-52 모델은 1992년 Rome Lab에 의해 개발되어 소프트웨어의 결함 밀도(FD: Fault Density)를 예측하는 모델임. 소프트웨어의 개발 초기부터 유닛 시험이 종료될 때까지 소프트웨어 개발과 관련된 여러 요소로부터 획득 가능한 데이터를 이용하여 소프트웨어의 결함 밀도를 산정함. 산정된 결함 밀도를 이용하여 소프트웨어 내의 초기 결함수를 계산하고 이를 하드웨어의 성능과 연계하여 소프트웨어의 초기 고장률을 예측가능 함.

$$FD = A \times D \times S, \text{ where } S = S_A \times S_T \times S_Q \times S_L \times S_X \times S_M \times S_R$$

FD: Estimated number of inherent faults

A: Application Type (2-14)

D: Development Environment (0.5-2.0)

S: Software Characteristics

$S_A$ -Software anomaly management (0.9-1.1)

$S_T$ -Software traceability (0.9-1.0)

$S_Q$ -Software quality (1.0-1.1)

$S_L$ -Software language

$S_X$ -Software complexity (0.8-1.5)

$S_M$ -Software modularity (0.9-2.0)

$S_R$ -Software standards review (0.75-1.5)

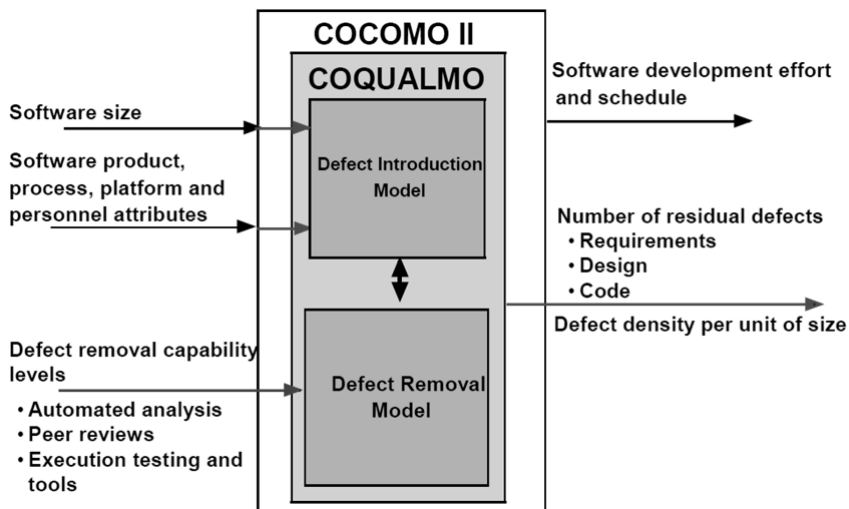
- Rome Lab의 RL-TR-92-15 모델은 초기 신뢰도를 산출하여 소프트웨어가 시스템 시험 전까지 어느 정도 신뢰도가 성장할 수 있는지를 예측하게 해주는 모델로 초기 고장률을 소스 코드의 통계적 결함 수와 결함 노출률, 프로세스의 속도 등을 이용하여 초기 고장률을 산출하고 시험이 진행되는 동안 고장률이 감소하는 신뢰도 성장 모델을 통하여 신뢰도의 성장을 예측함.
- Jelinski-Moranda 모델은 지수 함수의 성질을 이용하여 소프트웨어 신뢰성 평가를 나타낸 모델로 초기 결함 N개를 갖는 소프트웨어가 점차 시험이 진행되면서 고장이 발생되고 이 고장의 원인인 결함이 수정되면서 소프트웨어 내의 결함 수가 점차 줄어드는 개념의 모델임.

- 지수 함수의 성질을 이용하여 소프트웨어 신뢰성 평가를 나타내며 아래와 같은 가정이 있음.

- 1 초기 소프트웨어 결함의 숫자는 알려져 있지 않은 고정 상수
- 2 발견된 결함은 즉시 제거되고 새로운 결함을 만들어 내지 않음.
- 3 고장 간 사이의 시간은 독립이고 지수적으로 분포된 확률 변수
- 4 모든 남아 있는 소프트웨어 결함은 실패에 같은 양 만큼 기여

○ COQUALMO모델은 <그림 14>와 같이 기존 COCOMOII에 품질 요소를 고려하여 확장한 모델로 소프트웨어 신뢰성 목표를 제품척도(PM)와 비용척도(CM)는 반비례 관계를 이용하여 주어지는 입력 요인에 따른 척도간의 연관성 분석을 통한 적절한 신뢰성 목표 결정하고 있음.

- 1 비용척도 상/하한선 선정
- 2 결함밀도 상/하한선 선정
- 3 단계별 소프트웨어 개발 비용 관측값 도출
- 4 단계별 소프트웨어 결함 밀도 관측 값 도출
- 5 회귀 방정 식  $g(t)$ 를 유도



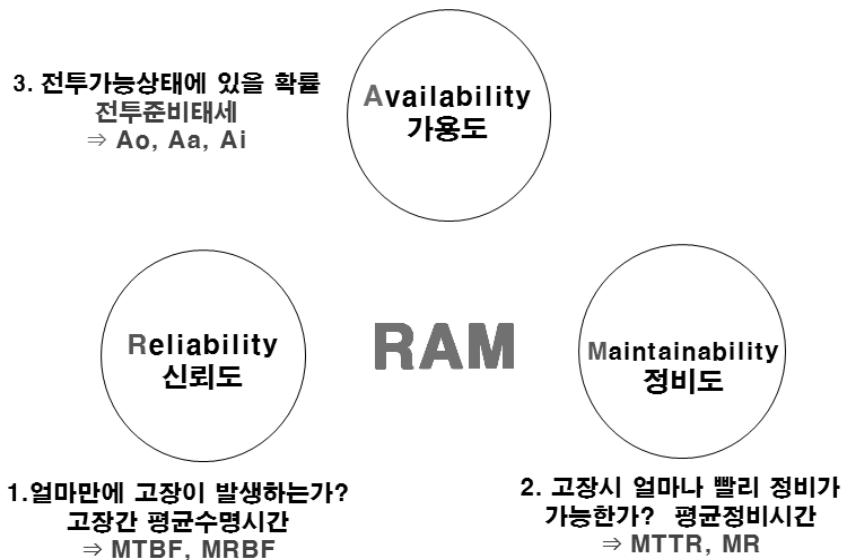
<그림 14> COQUALMO 개념

## 제4장 무기체계 SW 신뢰성 개념 및 분석

### 제1절 무기체계 SW 신뢰성 개념

#### 1. 무기체계 신뢰성

- 무기체계에서 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)은 <그림 15>에 나타나 있듯이 신뢰도(Reliability), 가용도(Availability), 정비도(Maintainability)의 약어로, 체계공학적으로 무기체계 설계 시 체계의 고장빈도나 시간, 임무수행 정도, 고장 시 정비에 소요되는 시간을 나타냄으로써, 무기체계의 전투수행능력을 나타내는 주요한 척도로 정의됨.

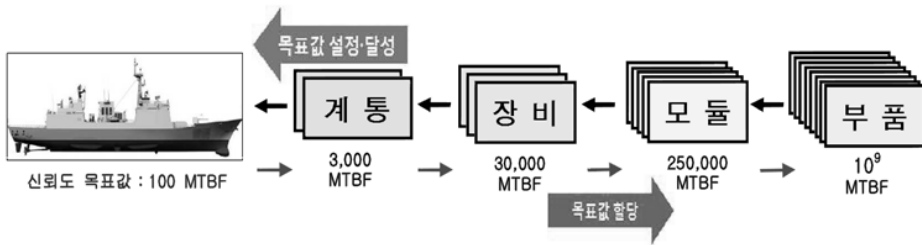


<그림 15> 무기체계의 RAM

- (신뢰도, Reliability) 어떤 체계가 주어진 조건하에서 일정기간 동안 고장 없이 의도된 기능을 수행할 수 있는 확률로서 고장빈도와 관련된 요소.
- (가용도, Availability) 어떤 체계가 고장수리를 거쳐 임의의 시점에서 가동상태에 있는 확률로서 신뢰도와 정비도에 의해 결정되며, 어떤 장비가 불시에 임무를 받았을 때 가용될 수 있는 정도.

- (정비도, Maintainability) 규정된 절차에 따라 정비를 실시할 경우 지정된 기간 내에 어떤 체계가 요구된 상태로 복구될 수 있는 확률로서 정비를 용이하게 할 수 있는 정도.

○ RAM 목표 값은 소요능력요청기관 및 소요제기기관에서 제출한 목표운용가용도 (Ao) 또는 RAM 잠정 목표값을 근거로 설정하며 함정 RAM 목표값 설정 및 할당 예시는 <그림 16>, <그림 17>과 같음.<sup>5)</sup>



\* Supply Chain : 신뢰도 목표값 달성을 위해 부품, 모듈, 장비, 계통에 이르기까지 Chain처럼 연결된 각각의 신뢰도가 달성.

<그림 16> 함정 RAM 목표값 설정 및 할당(예시)

OMS/MP 정량화 자료		무기 체계 설계 반영	연간 321시간 운용시 평균 840km를 주행하며, 장비가용도가 90%이고, 평균수리시간이 2시간 이내인 전차개발	
OMS/MP : 운용형태종합 및 임무유형, 전·평시 무기체계 사용 환경에 대한 정량화된 자료				설계 개요
연간 총 운용시간	321H	ROC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연간 840km 주행시 최고속도?</li> <li>• 주무장 개발시 분당 발사속도?</li> </ul>	
연간 평균 주행거리	840km	RAM 목표값	신뢰도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평균고장 시간(MTBF) : 34H</li> <li>• 평균고장 거리(MKBF) : 200km</li> <li>• 평균고장 발수(MRBF) : 1,000발</li> </ul>
연간 발사탄수	300발		가용도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고유가용도(Ai) : 97%</li> <li>• 성취가용도(Aa) : 92%</li> <li>• 운용가용도(Ao) : 90%</li> </ul>
연간 총 정비시간	637H		정비도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평균수리시간(MTTR) : 2H</li> </ul>
평균 수리시간	2H			
운용 가용도	90%			

<그림 17> OMS/MP를 통한 RAM 목표값 설정(예시)

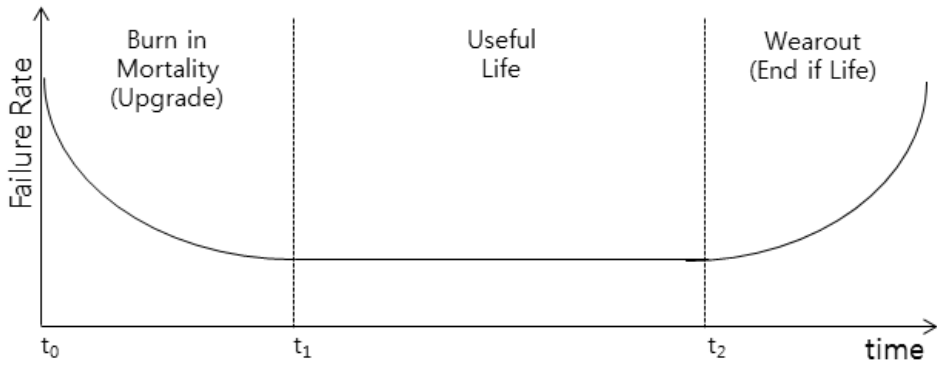
5) 방위사업청, 무기체계 RAM 업무지침 및 업무편람(2013)에서 제시한 예시임.

## 2. 하드웨어 신뢰성과 소프트웨어 신뢰성

- **(하드웨어 신뢰성과 소프트웨어 신뢰성의 차이)** 일반적으로 하드웨어는 자체의 특성, 제품의 소모나 외부 요인에 의한 고장으로 인해 그 신뢰성이 저하되는 반면, 소프트웨어 고장은 원인들이 코드의 로직이나 알고리즘의 잘못된 구현에서 야기됨.
  - 하드웨어는 외부 환경으로부터 민감한 영향을 받으며 시간이 지나면 고장률이 급증함에 따라 신뢰도가 떨어짐.
  - 소프트웨어의 경우는 양산 또는 출시 후에 활발하게 사용되면서 문제점들이 들어나고, 개발자의 조치(Upgrade 또는 Patch)로 고장률이 낮추지는 단계들을 거치면서 안정화를 이루어 시간의 흐름과 고장률이 하드웨어만큼 밀접하지는 않음.
  
- 소프트웨어는 하드웨어가 고장 나는 방식으로 고장 나지 않으며, 소프트웨어 불량은 예측하지 못했던 소프트웨어 작동의 결과로 초래되는 경우가 대부분임.<sup>6)</sup>
  - 상대적으로 작은 소프트웨어 프로그램도 천문학적인 수의 입력 및 상태 조합이 가능함.
  - 소프트웨어를 초기 상태로 돌려놓아도 똑같은 입력과 상태를 만나면 똑같은 의도하지 않은 결과가 나타날 수 있음.
  
- **하드웨어와 소프트웨어의 시간경과에 따른 고장률 변화<sup>7)</sup>**
  - 하드웨어 고장률은 <그림 18>과 같이 하드웨어 신뢰성 Bathtub와 같이 곡선 장비의 수명주기 동안 육조 곡선과 같은 형태를 가지며, 수명 초기의 안정화 시기를 지나면 전체 운영기간 동안 후기 전까지는 일정한 값의 고장률을 유지하게 됨.

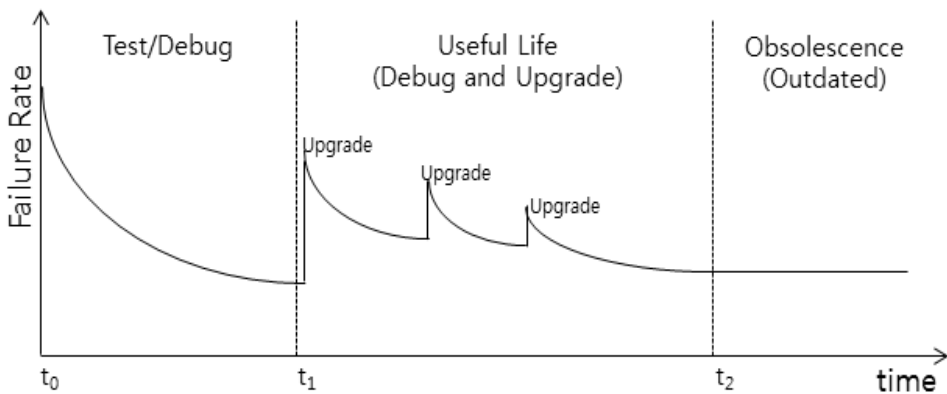
6) <https://ko.wikipedia.org/wiki/신뢰성공학>

7) Jiantao Pan, Software Reliability, Carnegie Mellon University, 1999. 재정리.



〈그림 18〉 하드웨어 신뢰성 Bathtub 곡선

- 소프트웨어 고장률은 〈그림 19〉와 같이 소프트웨어 신뢰성 Bathtub과 같이 곡선 목표 신뢰도가 확보되는 시점에 개발이 완료되어 사용자에게 배포되며, 소프트웨어에 대한 형상 변경이 없으면 고장률은 일정하게 유지되지만, 소프트웨어를 운용하는 동안 소프트웨어의 오류 수정, 기능 개선과 추가, 외부환경 변화에 따른 수정 등의 성능개선 활동으로 소프트웨어의 형상이 변경하게 되면 소프트웨어의 고장률은 변화되고 일정 시점이 되면 소프트웨어를 폐기하게 됨.



〈그림 19〉 소프트웨어 신뢰성 Bathtub 곡선

## 제2절 무기체계 SW 신뢰성 제도 분석

### 1. 무기체계 SW 신뢰성 시험 제도

- **(소프트웨어 신뢰성 시험)<sup>8)</sup>** 소프트웨어가 동작할 수 있는 다양한 경우의 수를 확인함으로써 소프트웨어가 일으킬 수 있는 결함을 식별하는 시험을 말하며 정적시험과 동적시험으로 구분됨.

\* 방위사업청 무기체계 SW 개발 및 관리 매뉴얼로 규정됨.

- **(무기체계 소프트웨어 신뢰성 확보)** 방위사업청 무기체계 소프트웨어 개발 지원을 위한 규정에서는 정적시험과 동적시험 및 전장관리정보체계의 경우 보안성 시험 및 평가를 하도록 규정하고 있음.

#### ○ 신뢰성 시험 방침

- 신뢰성시험은 정적시험(코딩규칙 검증, 취약점 점검, 소스코드 메트릭 점검)과 동적시험(코드실행률 점검)으로 구분하여 수행함.
- 시험도구는 관련표준 인증된 제품을 사용하는 것을 원칙으로 하되 인증된 도구가 없을 경우에는 SW 검토회의(소프트웨어 신뢰성시험계획)를 통해 결정함.
- 시험도구가 지원되지 않는 개발언어로 구현된 SW는 개발도구 등이 지원하는 기능을 이용하여 시험 할 수 있으며 SW 검토회의(SW신뢰성 시험계획) 또는 사업관리회의에서 시험방안을 결정함.
- 신뢰성시험은 정적시험(코딩규칙 검증, 취약점 점검, 소스코드 메트릭 점검)과 동적시험(코드실행률 점검)으로 구분하여 수행하며, 소프트웨어 신뢰성 시험은 소프트웨어 형상항목(CSCI) 단위로 실시함. (※ 신뢰성 시험 중 동적시험은 소프트웨어 구성품(CSC), 단위소프트웨어(CSU) 단위로 적용 가능)

---

8) 소프트웨어의 신뢰성 시험을 구분하는 방법으로 정적 시험(Static Testing)은 소스코드 자체의 결함을 검출하는 시험으로 코드의 실행 없이 코딩룰 등을 확인하는 방법이고, 동적 시험(Dynamic Testing)은 실제 소스코드가 실행되는 실행물을 확인하는 것이다. 소프트웨어 신뢰성시험은 무기체계, 항공기 등 안전에 민감한(Safety-Critical) 체계에는 반드시 적용이 필요하다.

- 소프트웨어 신뢰성 시험에 대한 기본계획(적용대상 CSCI, 평가항목, 사용도구 및 기타 사업별 필요 사항)은 체계개발실행계획서에 반영, 상세설계단계에서 소프트웨어 검토회의 등을 통해 확정함.
- 신뢰성시험은 시험평가 항목에 대한 세부계획, 절차 및 결과는 소프트웨어 산출물 (STP, STD, STR)에 포함하여 추적성을 유지하고, 규격화 단계에서 최신 화함.

○ 제안요청서에서의 SW 신뢰성 포함 내용<sup>9)</sup>

- 소프트웨어 신뢰성 향상을 위해 정적시험 및 동적시험을 포함한 신뢰성시험 방안을 제시한다.
- 소프트웨어 신뢰성시험은 자동화도구를 사용하여 수행하며 개발시험평가 전 까지 결함을 수정하고, 개발시험평가(DT&E)항목에 신뢰성시험을 반영하여 평가한다.
- 자동화도구에 의한 소프트웨어 신뢰성시험결과는 시험결과서 및 전산파일(DATA 및 Log)로 제출하여야 한다.

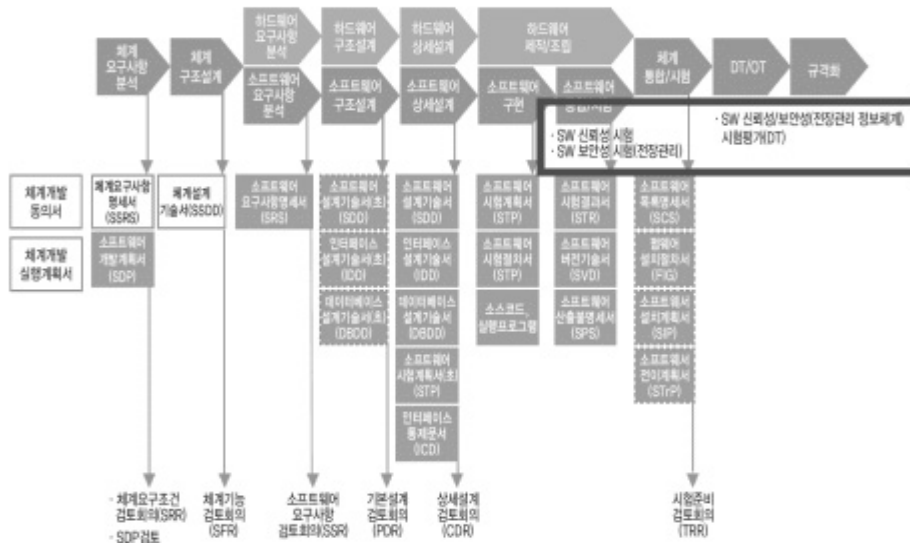
○ 무기체계 소프트웨어 개발단계 및 산출물<sup>10)</sup> 무기체계 소프트웨어 개발단계 및 산출물은 <그림 20>과 같으며, 소프트웨어 종합시험단계에서 SW신뢰성시험과 전장관리정보체계에 한해 SW 보안성 시험을 수행하도록 되어 있음.

○ (무기체계 내장형 소프트웨어 신뢰성 확보방안 연구)<sup>11)</sup> 2012년 조사된 국내외 산업별 내장형 소프트웨어 신뢰성 활동항목과 분야별 적용 정도는 <표 5>와 같 으며, 현재에도 무기체계 지침 상 반영되어 있는 부분은 제한적임.

9) 무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼(2016.7.13.)에 따르면 연구개발사업 제안요청서(안)에 소프트웨어 신뢰성 시험 관련 문구를 포함하고 제시하고 있음.

10) 출처 : 무기체계 소프트웨어 개발관리 핸드북(방산기술지원센터)

11) 출처 : 장종표. (2012). 『무기체계 내장형 소프트웨어 신뢰성 확보방안』. 한국정보통신기술협회. pp.16-17.



〈그림 20〉 무기체계 소프트웨어 개발단계 및 산출물

〈표 5〉 국내외 산업별 내장형 소프트웨어 신뢰성 활동

항 목	민간 부문				국내 무기체계				방사청 지침
	전자	자동차	철도	항공	기동	함정	항공	유도	
SW신뢰성 모델 적용	△	×	×	×	×	○	×	○	×
SW품질지원 그룹운영	○	○	○	○	○	○	○	○	○
위험기반 테스트	○	○	○	○	×	△	×	△	×
치명도 및 위험도 분석 적용	△	△	△	△	×	×	×	×	×
모델기반 아키텍처적용	×	○	×	○	○	×	○	×	×
추적성 유지	○	○	○	○	○	○	○	○	○
보안고려 개발	×	×	×	×	×	×	×	×	×
요구사항변경 영향도 평가	×	×	×	×	×	×	×	×	×
중요로직 안전성 확인	×	×	×	×	×	×	×	×	×
독립조직시험	○	○	×	○	×	×	○	×	×

※ 범례 ○ : 적용, × : 미적용, △ : 유사개념 적용

## 2. 무기체계 SW 신뢰성 시험 확보 활동

- **(내장형 소프트웨어 신뢰성 확보 활동)** 내장형 소프트웨어의 잠재적 결함을 최소화시키기 위한 제반활동(신뢰성 확보계획 수립, 검증 및 확인, 신뢰성 시험 등)을 말함.
- 신뢰성 시험대상 소프트웨어는 개발 소프트웨어, 공개(Open) 소프트웨어, 자동 생성 코드 등이 있으며 비대상은 기개발 소프트웨어상용(COTS), 소프트웨어(HW와 함께 제공되는 SW 포함)를 말하며 <표 6>과 같이 시험 대상이 정해져 있음.

<표 6> 신뢰성 시험 대상 소프트웨어

구 분	시험 대상여부
개발 소프트웨어	○
기개발 소프트웨어	×
상용(COTS) 소프트웨어 (HW와 함께 제공되는 SW 포함)	×
공개(Open) 소프트웨어	○
자동 생성 Code	○

- ※ 기개발, 상용 소프트웨어는 소프트웨어 상세설계 단계에서 수정 없이 재사용이 확정된 경우 시험 대상에서 제외 할 수 있으나 수정을 한 경우는 해당 함수에 대하여 신뢰성시험을 수행함. 단, 기개발 소프트웨어는 무기체계 소프트웨어 신뢰성시험을 실시한 것을 의미함.
- ※ 공개 소프트웨어는 상세설계 단계에서 사용 필요성과 신뢰성 확보 여부를 제시하고 승인된 경우 신뢰성 시험 대상 제외 가능함.
- ※ 자동 생성 Code는 타당한 사유를 제시할 경우 신뢰성 시험 대상에서 제외 가능함.

### 3. 신뢰성 시험 분석

- 소프트웨어 신뢰성 제도는 무기체계가 정확하고 일관성 있게 작동할 수 있도록 소스코드 내에 잠재적 결함을 최소화 하는 활동으로 방위사업관리규정, 무기체계 SW 개발 및 관리 매뉴얼, 실무지침서 등을 통해 강조되고 있음.
- 소프트웨어 신뢰성 향상을 위해 소스코드 시험을 중점적으로 실시하고 있으나 시험평가 단계의 소프트웨어 테스트만으로 소프트웨어의 잔존 결함 수, 시험 종료 시점 판단 및 소프트웨어 품질수준 파악은 제한됨.
- 이를 극복하기 위해 정량적으로 평가 할 수 있는 SW 신뢰성 척도가 필요하며, SW 개발 전 단계에 걸쳐 신뢰성 척도 및 모델을 활용하여 SW 신뢰성을 분석하고 관리하여 무기체계의 대형화·복잡화·상호 연동성 강화 및 방산 수출의 증가에 따른 선진국 수준의 SW 신뢰성 메트릭과 모델을 개발하고 정립할 필요가 있음.
- 소프트웨어 신뢰성 향상을 위해 시험평가단계에서 테스트 기법을 다양화 할 수 있는 정적·동적 분석 기법 개발이 필요하며, 이를 적용하여 결함율을 낮추는 노력이 필요함. 또한 테스트 결과 데이터를 수집·분석하여 개발 초기 단계부터 개발 전 단계에 걸친 예측 가능한 신뢰성 보증 활동이 필요함.
- 현재와 같은 소프트웨어 시험평가 단계에서만 이루어지는 신뢰성 관리 활동을 전 소프트웨어 개발생명주기에 따라 관리할 수 있는 기법 및 활동 연구가 필요함.

### 제3절 무기체계 SW 신뢰성 향상 방안

#### 1. 소프트웨어 신뢰성 정의

- (정의) 소프트웨어 신뢰성은 소프트웨어가 동작하는 주어진 조건에서 지정된 시간 동안 소프트웨어가 고장을 일으키지 않을 확률로 나타낼 수 있으며 특정 시간(t) 이상 소프트웨어 실행 시(T) 고장을 일으키지 않을 확률임.

$$R(t) = Prob(T > t) = 1 - \int_0^t F(x) dx = 1 - F(t)$$

- T : 소프트웨어 실행 시간
- F(t) : 수명의 누적 분포함수로서 t이내에 고장이 날 확률을 나타냄
  - \* 소프트웨어 고장은 사용자가 의도하지 않은 결과를 소프트웨어 실행의 결과로 얻는 것임.

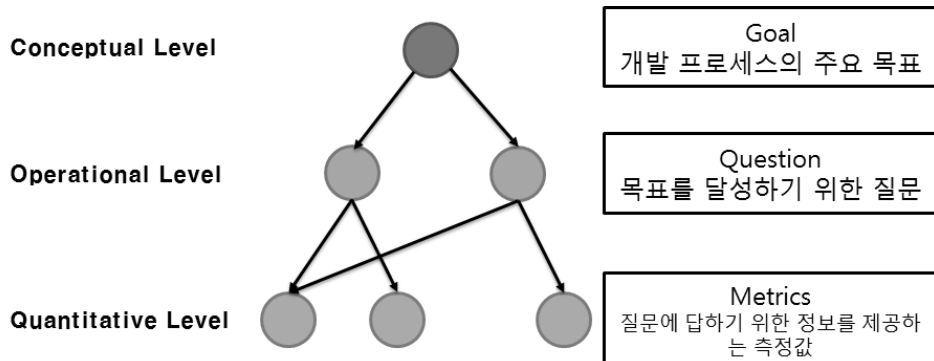
- (순간)고장률((Instantaneous) Failure Rate, Hazard Rate)은 어떤 제품 t시점 까지 고장 나지 않았다는 조건하에서 t시점에 순간적으로 고장이 날 밀도를 말하며 제품의 수명특성을 나타내는 척도임.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr[t < T \leq t + \Delta t | T > t]}{\Delta t} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- 평균수명은 MTTF(Mean Time To Failure)와 MTBF(Mean Time To Between Failures)으로 나타나지며 무기체계 소프트웨어에서도 의미 있는 내용인지는 세부적인 연구가 필요함.
  - MTTF(Mean Time To Failure) : 평균 고장 시간, 즉 수리 불가능 아이템의 고장 날 때까지의 평균 시간
  - MTBF(Mean Time To Between Failures) : 평균 고장 간격, 즉 수리 가능 아이템의 고장 간 평균 시간

## 2. 무기체계 소프트웨어 개발수명주기를 고려한 신뢰성 관리를 위한 Metric 개발과 데이터 축적

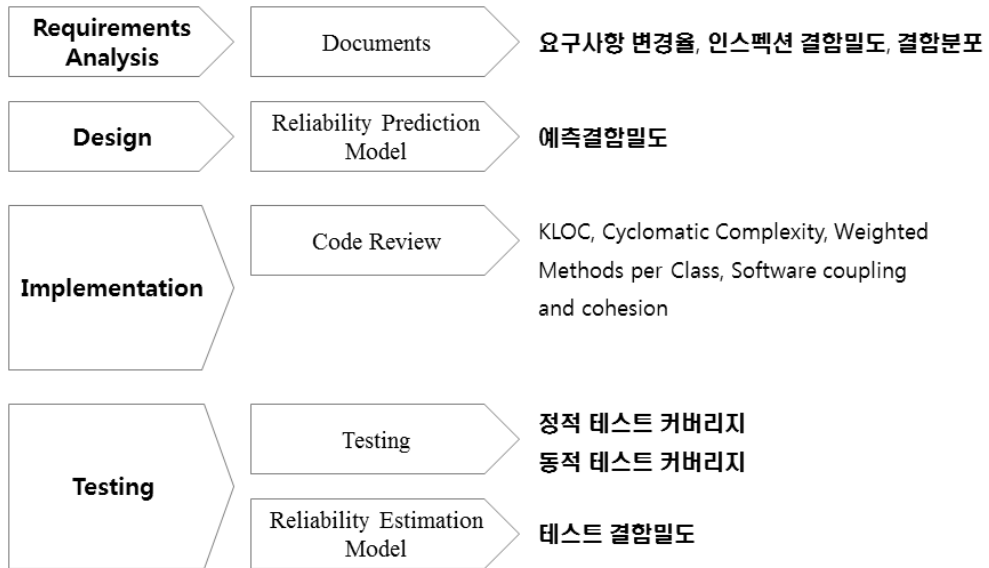
- 무기체계 소프트웨어의 신뢰성을 직접 또는 간접 측정할 수 있는 메트릭(Metric)을 개발하고 연구하여 무기체계 소프트웨어 개발수명주기를 전체를 고려하여 데이터를 축적하고 소프트웨어 신뢰성을 관리하여야 함.
  - (메트릭, Metric) 시스템, 장비 또는 프로세스가 주어진 속성을 포함하는 정도를 나타냄. (IEEE Standard Glossary)
  - (소프트웨어 메트릭) 소프트웨어 제품, 프로세스 또는 자원에 대한 내외부의 속성을 정량적으로 표현하는 지표
  - (예시) 소프트웨어 단계별로 결함을 삽입 후 제거되는 과정을 통해 잔여 결함을 예측하는 Phase Containment Effectiveness for Phase와 같은 메트릭을 의미함.
- 메트릭을 선택하는 방법의 하나로 <그림 21>과 같이 Goal- Question-Metric (GQM) 방법이 있으며, 먼저 개발 프로세스의 주요 목표를 Goal로 선정하고 목표를 달성하기 위한 질문을 해서 질문에 답하기 위한 정보를 제공하는 측정값으로 메트릭을 선정하는 방법이 있음.



<그림 21> Goal-Question-Metric (GQM)

- 무기체계 소프트웨어 개발 수명주기에 따른 신뢰성 메트릭은 <그림 22>와 같이 요구사항 분석단계의 요구사항 변경률, 인스펙션 결함밀도와 결함분포, 설계단계의 Reliability Prediction Model와 예측결함밀도, 구현단계의 Code Review를

통한 KLOC(물리적, 논리적), Cyclomatic Complexity, Weighted Methods per Class, Software coupling and cohesion, 테스트 단계의 정적 테스트 커버리지, 동적 테스트 커버리지, Reliability Estimation Model을 통한 테스트 결함 밀도 등을 메트릭으로 관리할 수 있음.



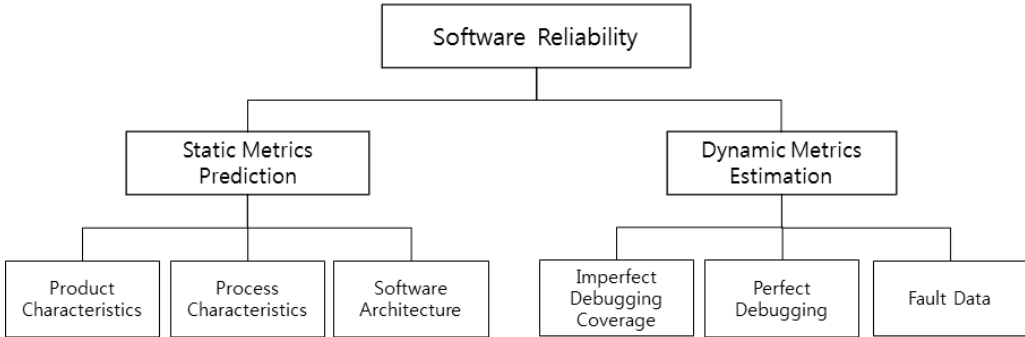
〈그림 22〉 소프트웨어 신뢰성 메트릭

### 3. SW 신뢰성 예측과 추정을 위한 모델 개발

- 무기체계 소프트웨어 개발에 따라 선정된 신뢰성 메트릭을 이용하여 무기체계 소프트웨어 목표 신뢰도를 개발 초기에 선정하여 소프트웨어 형상항목에 할당하고, 형상항목별 신뢰도를 관리하여야 함. 무기체계의 OMS/MP<sup>12)</sup>를 통한 RAM 목표값을 할당하는 것과 같이 목표값에 대한 설정 연구와 이를 할당하여 신뢰성을 예측하고 추정할 수 있는 모델을 개발함.

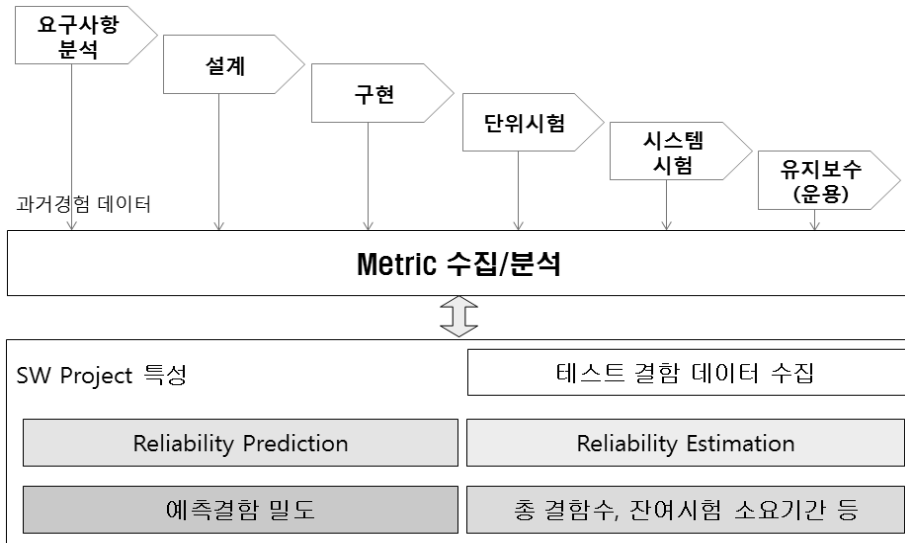
12) Operational Mode Summary(운용형태종합), Mission Profile(임무유형)로 무기체계 소요제기 시 해당 무기체계의 운용형태종합 및 임무유형을 제시하도록 하고 있으며, 이는 주 장비 체계 설계목표 및 종합군수지원 요소 개발의 기준이 되는 핵심문서로써 개발무기체계가 미래전장 환경에서 “어떻게 운용되고 어떤 임무를 수행할 것인가?”를 임무분석과 전·평시 전투시나리오 및 교육훈련 소요에 의거 운용 및 정비소요 제원을 정량화하여 제시한 문서

- 소프트웨어 신뢰성을 추정하고 평가할 수 있는 모델은 <그림 23>과 같이 정적인 메트릭을 예측하는 방법과 동적인 메트릭을 추정하는 방법으로 분류해 볼 수 있으며, 이러한 방법들은 특징에 따라 다양한 모델들을 만들 수 있음.



<그림 23> 소프트웨어 신뢰성 평가 모델

- 무기체계 소프트웨어 신뢰성 예측과 추정을 위해 <그림 24>와 같이 개발초기 단계의 결함밀도 예측 모델과 시험단계의 신뢰성을 예측할 수 있는 모델 개발이 필요함.



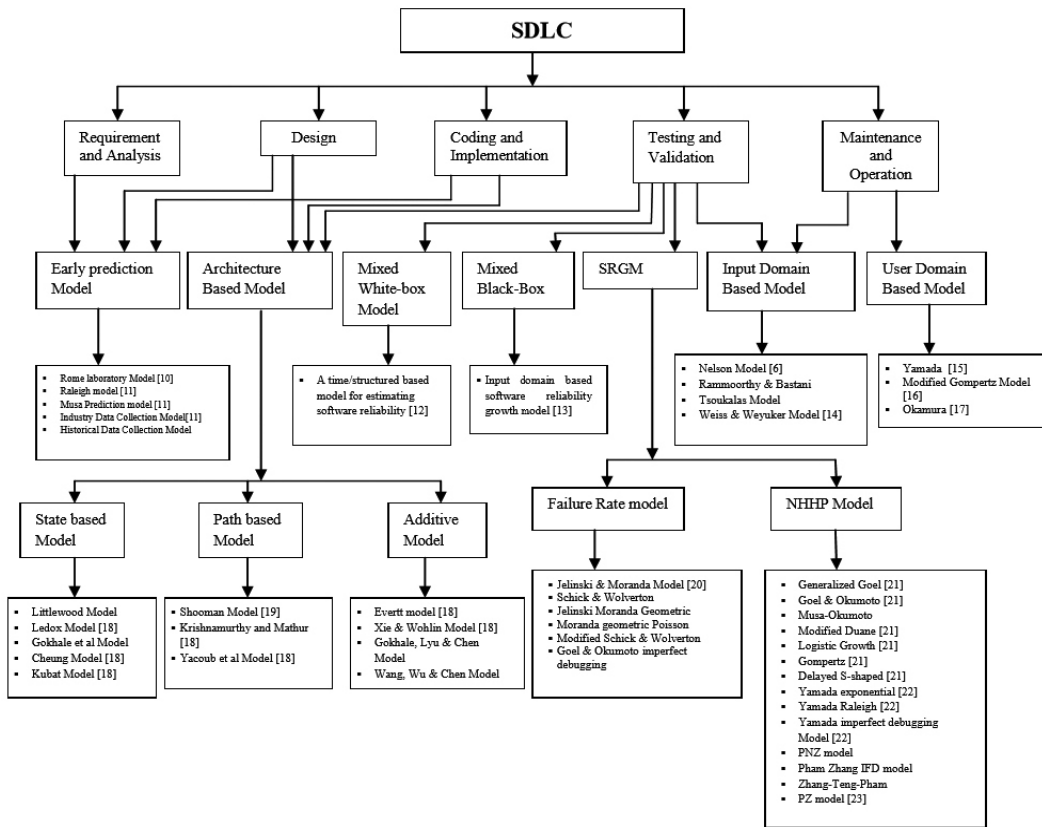
<그림 24> SW 개발단계별 신뢰성 예측과 추정

- 소프트웨어 신뢰도 예측은 개발 초기 단계부터 소프트웨어 단위시험이 수행되기 전까지 소프트웨어에 대한 경험적 또는 과거의 자료를 기반으로 신뢰도를 예측하는 방법임.
- 소프트웨어 신뢰성 추정은 소프트웨어 시험단계에서 시험을 통해 수집되는 데이터를 분석하여 소프트웨어의 신뢰도를 추정하는 활동으로 시험을 통해 수집되는 고장 데이터의 추세 분석을 통하여 소프트웨어의 신뢰도를 추정함.
- 예측모델과 추정모델의 입력과 출력

구분	입력	출력
예측 모델	· 환경, 경험 요소 · 프로세스 활동과 연계한 측도로부터 수집된 데이터 값	· 결함밀도 · 고장률 · 현재의 신뢰도
추정 모델	· Time domain 모델 - 실패간의 평균시간, 영향도 · Interval domain 모델 - 결함 수, 관찰시간간격	· 고장률 · 남아있는 결함 수 · 다음 실패까지의 시간 · 현재의 신뢰도

- 신뢰도 평가모델은 소프트웨어 개발 단계에 따라 크게 예측모델과 추정모델로 나뉘었으나 최근에는 이전의 분류 방식보다 세부적으로 나누어 소프트웨어 개발단계에 따라 분류하는 <그림 25>와 같은 방법도 있음.<sup>13)</sup>
  - (Early Prediction Models) 테스트 단계 이전의 예측을 바탕으로 소프트웨어의 신뢰도를 예측하는 모델들로 소프트웨어의 품질, 최적의 개발 전략, 비용 초과 등의 문제들을 조기 식별 가능토록 해줌. Rome Lab Model이 대표적이며, 기존에 유사 프로젝트 나 설계 및 개발 단계에 관련된 설문지를 바탕으로 데이터를 수집하여 신뢰도를 예측함.

13) Kuldeep Singh Kaswan, Sunita Choudhary, Kapil Sharma, "A New Classification and Applicability of Software Reliability Models", International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, Vol. 2, Issue 7, pp.99-104, 2014.



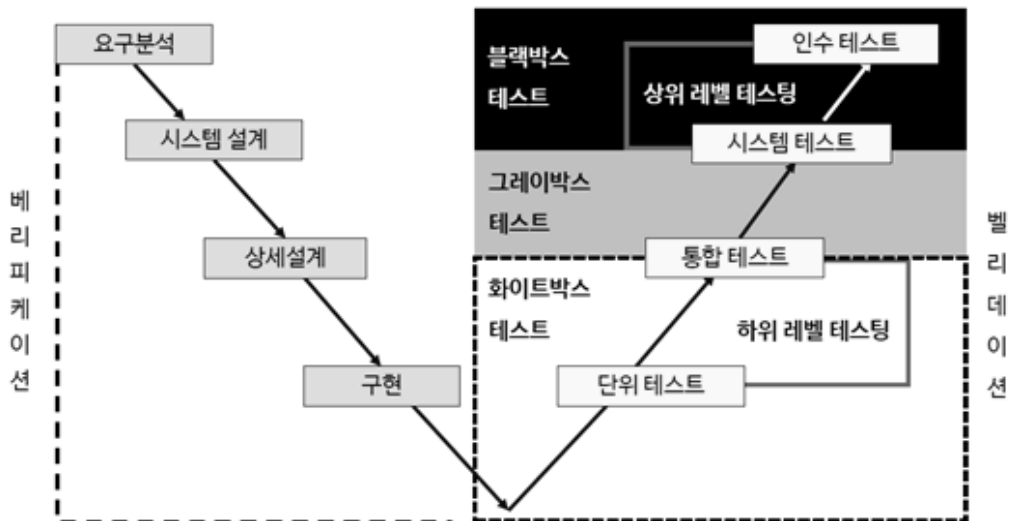
〈그림 25〉 소프트웨어 개발수명에서의 신뢰성 모델 분류

- (Architecture Based Models) 소프트웨어의 설계 요구사항을 기반으로 상이한 아키텍처 스타일을 적용한 부분을 찾아내는 방법으로 전체 시스템의 신뢰도는 각각 개별적인 아키텍처 스타일을 찾아내서 측정함. 상태기반 모델과 페스 기반 모델 등이 있음.
- (Mixed White-Box Models) 테스트 단계에서 사용이 되며 Early Prediction Models과 Architecture Based Models을 조합한 모델들로 초기 테스트 단계에서 테스트 단계가 종료되기 전에 신뢰도를 예측 가능함.
- (Software Reliability Growth Models) 테스트 단계에서 적용되며, 소프트웨어 폴트 사이의 시간 간격을 추정하거나 예상되는 잔여 폴트수의 관점에서 소프트웨어의 신뢰성을 정량화함. 소프트웨어 성장 모델링 및 분석을 위해 일정 시간 또는 CPU 시간을 오류 검출을 위한 시간 단위로 사용함.

- (Input Domain Based Models) 프로그램의 운영적인 사용량을 나타내는 입력 분포로부터 테스트 케이스를 생성하나 입력 분포를 얻는 것은 어렵기 때문에 Input Domain은 일반적으로 동등한 클래스들의 집합으로 분할됨. 각각의 동등한 클래스들은 프로그램 경로로 표현되며, 신뢰성의 추정 결과는 샘플 입력 케이스의 총 수로부터 성공적으로 실행된 결과의 입력 테스트 케이스의 비율을 사용함.
- (User Domain Based Models) 유지보수와 운영단계에서 실패 데이터를 수집 하는 것으로 사용자에게 제품이 인도되기 전보다 정확한 신뢰도를 평가하기 위한 모델들로 구성됨.

#### 4. SW 정적/동적시험 기법 개발

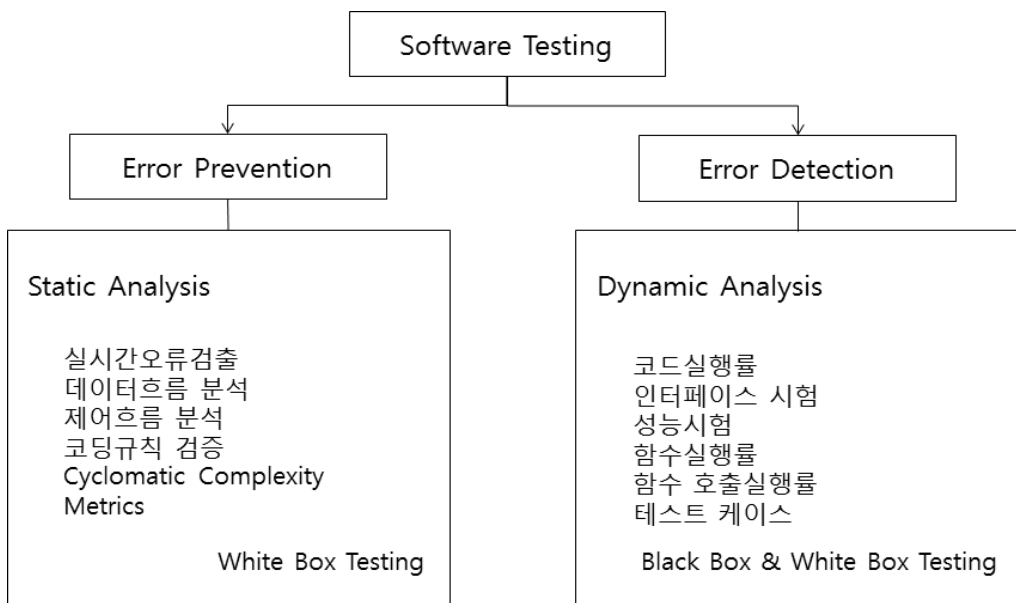
- (소프트웨어 시험을 통한 신뢰성 향상) 소프트웨어가 동작할 수 있는 다양한 경우의 수를 확인함으로써 소프트웨어가 일으킬 수 있는 결함을 식별하는 시험을 말하며 무기체계 소프트웨어 시험평가에 적용할 수 있는 다양한 정적시험과 동적시험 기법을 개발이 필요함.



〈그림 26〉 소프트웨어 개발 생명주기와 테스트

○ 무기체계 소프트웨어 신뢰성 시험 항목은 <그림 27>과 같이 다양하며, 아래와 같이 나누어 볼 수 있음.

- (정적시험) 실시간오류검출, 데이터흐름 분석, 제어흐름 분석, 코딩규칙 검증 (순환복잡도 제한, 파라미터개수 제한, 함수크기 제한, 함수호출 수 제한, 인터럽트 사용제한) 등
- (동적시험) 코드실행률, 인터페이스 시험, 성능시험, 함수실행률, 함수 호출실행률, 테스트 케이스(오류추정, 동등분할, 경계값 분석) 등



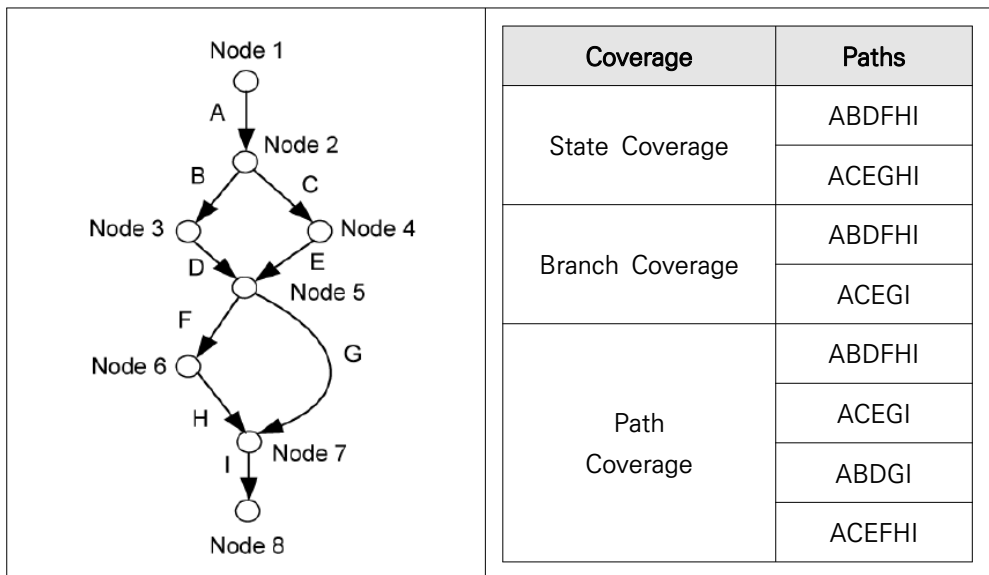
<그림 27> 소프트웨어 테스트 분류

○ 소프트웨어 테스트 방법인 코드 실행률(Code Coverage)을 이용하여 소프트웨어 신뢰성을 확보할 수 있으며, 시험 수준에 따라 문장(Statement) 실행률, 분기(Branch) 실행률, MC/DC(Modified Condition/Decision)로 나누어지며, 테스트 실행률 방법 예시는 <그림 28>과 같음.

- (코드 실행률, Code Coverage) 동적 시험 수준을 결정하는 기준으로서 전체 소프트웨어 소스 코드에서 시험된 코드를 백분률(%)로 나타낸 것이며, 시험 수준에 따라 문장(Statement) 실행률, 분기(Branch) 실행률, MC/DC (Modified

Condition/Decision)로 구분하고 있음.

- (문장 실행률, Statement Coverage) 코드 실행률의 가장 기본적인 수준에 해당되는 것으로 시험대상 소프트웨어 소스 코드내의 문장 중 동적 시험간 적어도 한 번 이상 시험된 문장의 비율(%)을 의미함.
- (분기 실행률, Branch Coverage) 시험대상 소프트웨어 소스 코드내의 분기문 중 동적 시험간 참(True), 거짓(False)이 적어도 한 번 이상 시험된 비율(%)을 의미함.
- (MC/DC, Modified Condition/Decision Coverage) 가장 높은 수준의 코드 실행률로써 시험대상 소프트웨어 소스 코드내 분기문에 있는 모든 조건식 중 개별 조건식의 독립적인 변화가 분기문의 참, 거짓에 영향을 미치는 모든 조합에 대해 동적 시험간 적어도 한 번 이상 시험된 비율(%)을 의미, 통상은 Path Coverage라고 함.



〈그림 28〉 소프트웨어 실행률 예시

## 5. SW 신뢰성 공학 프로세스 적용

- 소프트웨어 신뢰성은 무기체계 소프트웨어 개발 초기에 목표 신뢰도를 정하고, 관리하는 것이 소프트웨어 품질(신뢰성) 관리에 효과적이며, 소프트웨어 개발 프로세스에서 코딩 단계뿐만 아니라 요구사항 분석 설계단계에서 부터 신뢰성 공학 프로세스 기술을 적용하는 것이 궁극적인 소프트웨어 품질을 높일 수 있음.
- 무기체계 소프트웨어 신뢰성을 현재와 같이 단순히 시험평가 단계에서만 테스트를 통해 추구하지 말고, 소프트웨어 개발 생명주기 전 과정에서 추구할 수 있도록 SW 신뢰성 공학 프로세스 개념을 도입하고, 표준화된 프로세스로 정립하여야 함.
- 소프트웨어 개발단계에 따른 신뢰성 공학 프로세스는 시스템의 신뢰도 목표를 세우고 산출물을 이용하여 요구사항 분석 단계에서 요구되는 신뢰도를 분석하여 할당하고, 설계 구현단계에서 신뢰도를 예측하고 소스코드를 활용하여 시험평가 단계에서 신뢰도를 평가할 수 있음. 이러한 신뢰성 공학 프로세스를 적용하기 위한 프로세스와 프로세스에 따른 적용가능 모델 및 기법에 대한 연구노력이 필요함.

## 제5장 결 론

- 무기체계에서 소프트웨어로 구현되는 기능의 비중이 증가하고 있으며, 전투기의 경우 SW로 구현되는 기능은 1960년대 생산된 F-4는 임무기능의 8%가 SW에 의해 수행되었지만, 2007년에 생산된 F-35 전투기의 경우 90%가 SW에 의해 기능이 구현되고 있음.
- 소프트웨어 규모는 F-35 전투기의 경우 18,200KSLOC (Thousand Source Lines of Code), 국내에서 개발된 전차의 경우에도 1999년 K9 자주포는 120 KSLOC에서 2007년 K2 전차는 620 KSLOC 구현되어 복잡해지고 있음.
- 무기체계 소프트웨어는 전투나 전쟁을 수행하는 체계이므로 원하는 시간이나 환경 조건에서 지속적으로 성능을 발휘할 수 있어야 하며, 시스템이 예상치 않게 정지하거나 중단하는 일이 없는 최고의 품질을 유지하는 신뢰성이 확보된 소프트웨어가 필요함.
- 무기체계에서 소프트웨어의 고품질·고신뢰 소프트웨어 확보를 위해 고신뢰 소프트웨어 실패사례를 분석하고 무기체계 신뢰성 관련 제도를 분석하여 무기체계 소프트웨어 신뢰성 향상 방향을 제시함.
- 제시된 소프트웨어 신뢰성 정의, 무기체계 소프트웨어 개발수명주기를 고려한 신뢰성 메트릭 관리, 소프트웨어 신뢰성 예측과 추정을 위한 모델 개발과 소프트웨어 정적·동적 시험을 통한 신뢰성 향상을 통해 무기체계 소프트웨어 신뢰성에 대한 관심과 연구 활성화의 초석을 이루고자 함.

## 참 고 문 헌

- [1] 강동수, (2016.10.20.). “무기체계 내장형SW 유지보수 제도 도입하자.” 『전자신문』.
- [2] 강동수, (2016.11.16.) “무기체계 소프트웨어 발전 및 경쟁력 강화방안”, 획득업무 발전 컨퍼런스(무기체계 SW 발전 세미나).
- [3] 강동수, “무기체계 SW 제도개선 사례 및 발전 방향.” 한국정보과학회 국방소프트웨어 연구회 동계워크샵. 한국정보과학회, 2013.
- [4] 강동수, “무기체계 품질과 소프트웨어 개발 프로세스.” 『아웃리치』, Vol.59. 방위사업청. pp.14-17, 2013.
- [5] 강동수, “민간 SW역량의 국방활용 방안.” 제2회 무기체계 소프트웨어 발전 컨퍼런스, 방위사업청, 2013.
- [6] 김명신, 강동수, 백두권, "소프트웨어 통합테스트를 위한 결합예측모델 설계", 한국정보처리학회, 제33회 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 제16권 제2호, pp.969-972, 2010.
- [7] 이승훈, 강동수, 송치양, 백두권, "BPMN기반의 모델 단축을 이용한 서비스 시스템의 테스트 케이스 생성 기법", 정보처리학회논문지 D 제16-D권, 제4호 pp. 595-612, 2009.08.
- [8] 김기백, 무기체계를 위한 소프트웨어 신뢰성 공학 프로세스, 박사학위 논문(아주대학교), 2011.
- [9] 김은로, 무기체계 SW 결함 감소를 위한 메트릭 기반 신뢰성 공학 프로세스, 박사학위논문(경북대학교), 2015.
- [10] 방위사업청 훈령, 무기체계 소프트웨어 개발 지원에 관한 규정.
- [11] 방위사업청, 무기체계 SW 개발 및 관리 매뉴얼.
- [12] 방위산업기술지원센터, 무기체계 소프트웨어 개발·관리 핸드북, 2015.
- [13] 국방기술품질원. (2015), 『국가별 국방기술 수준조사서』
- [14] 임성호 외, “무기체계 SW 국산화 실태분석 및 확대방안 연구.” 안보경영 연구원 (방위사업청 정책연구), 2011.
- [15] 장종표, 『무기체계 내장형 소프트웨어 신뢰성 확보방안』, 한국정보통신 기술협회 (방위사업청 정책연구), 2012.

- [16] Bertrand Meyer, ETH Zurich, Dependable Software, 2006.
- [17] Donald G. Firesmith, et al. (2009). The Method Framework for Engineering System Architecture. CRC Press.
- [18] Software Engineering body of knowledge(SWEBOK), 2014.
- [19] Sommerville, Software Engineering, 9th Edition, 2009.
- [20] Kuldeep Singh Kaswan, Sunita Choudhary, Kapil Sharma, “A New Classification and Applicability of Software Reliability Models”, International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, Vol. 2, Issue 7, pp.99-104, 2014.

연·구·보·고 2·0·1·6

---

# 미래 개인전투체계 발전 방안

김 경 수  
(국방대학교 교수)

2016. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	1
I. 연구개요 .....	2
1. 연구배경 및 필요성 .....	2
가. 연구의 배경 .....	2
나. 연구목표 .....	2
2. 연구 범위 및 방법 .....	3
가. 연구의 범위 .....	3
나. 연구의 방법 .....	3
II. 미래 전쟁 .....	5
1. 미래 전장 환경 .....	5
2. 최근의 주목할 기술 .....	7
3. 재래식 전력 운용 전망 .....	9
4. 한반도 작전환경을 고려한 미래전 양상 .....	10
III. 미래 개인전투체계 발전방안 .....	15
1. 국방소요기획체계 (JCIDS를 중심으로) .....	15
2. 한국군 개인전투체계 .....	19
3. 해외 개인전투체계 개발현황 .....	21
가. 미국 .....	21
나. 일본 .....	27
다. 프랑스 .....	28
라. 소결론 .....	29
4. 미래 개인전투체계 운용개념에 따른 임무 .....	30
5. 미래 개인전투체계 소요 요구 성능 .....	35

IV. 생체기능 증폭과 사회적 파급효과 .....	36
1. 인간 생체기능 증폭과 기술적 가능성 .....	36
2. 인간 생체기능 증폭을 고려한 개인전투체계 개발과 사회적 효과 ..	46
V. 결론 및 향후 연구방향 .....	51
참고문헌 .....	53

## 〈그림 목 차〉

[그림 2-1] 결정적 작전 개념도 .....	13
[그림 3-1] Joint Capability Integration Development Process .....	16
[그림 3-2] 미국이 추진하려 했던 개인전투체계 .....	22
[그림 3-3] 일본 육상 자위대의 개인전투체계 .....	28
[그림 3-4] 연도별 출생률(통계청) .....	31
[그림 3-5] 알파고의 기본적인 인공지능 논리 .....	33
[그림 4-1] 3차원 뇌 신경구조 MRI 영상 .....	37
[그림 4-2] 뇌파를 이용한 컴퓨터 운용 .....	38
[그림 4-3] 뇌파를 송수신하는 헤드셋 .....	39
[그림 4-4] 논 의 움직임으로 컴퓨터 조작 .....	39
[그림 4-5] 미국의 DARPA가 제시한 증강현실 전투현장 .....	40
[그림 4-6] 미래 병사의 VR 훈련과 시뮬레이션 .....	41
[그림 4-7] 증강현실 전투현장 .....	41
[그림 4-8] 전천후 감시체계 .....	42
[그림 4-9] 송수신용 무전기 .....	43
[그림 4-10] 개인전투체계 데이터 링크 .....	43
[그림 4-11] 2014 Paralympics에 사용된 Oscar Pistorius의 의족 .....	44
[그림 4-12] Exoskeleton 초기모델 .....	45
[그림 4-13] 방수기능이 강화된 피복 .....	46
[그림 4-14] 연도별 방위력 개선비와 국방예산 .....	48
[그림 4-15] 개인전투체계에서 파생된 인공신체 기술 .....	50
[그림 4-16] 개인전투체계에서 파생된 인공안구 .....	50

## 〈표 목 차〉

〈표 2-1〉 과학기술이 지배하는 전쟁의 주요특성 .....	11
〈표 2-2〉 지상전 운용개념의 변화 .....	12
〈표 2-3〉 미래전 이론에 따른 전쟁 양상 .....	12
〈표 3-1〉 전투원과 무인무기체계 장단점 비교 .....	34

## 요 약 문

본 연구보고서는 미래 개인전투체계에 적용 가능한 기술을 검토했다. 최근 합참을 중심으로 ‘능력기반소요기획체계’가 정착되면서 ‘어떻게 싸울 것인가?’가 매우 중요하게 대두되고 있다. ‘위협기반 소요기획체계’를 따르다가 각 군의 합동성이 약화되고 오히려 방위력개선 분야에서 반목하는 상황이 벌어졌던 과거의 모습에서 한 차원 진화한 것이라고 볼 수 있다. 그래서 본 연구에서는 ‘능력기반 소요기획체계’를 알아보고 이에 따라 미래 개인전투체계 발전방안을 제시했다.

현재 개인전투체계는 **Block-I**이라는 명칭으로 소요제기 되어있으며 향후 진화된 모습의 **Block-II**에 대한 연구가 진행되는 상황이다. 육군은 전투원이 육군이 보유한 가장 중요한 자산이며 그 어떤 무기체계도 흉내 낼 수 없는 판단력을 가지고 있다고 여기고 있다. 그러나 전투현장에서 신체적 한계를 극복하지 못하면 판단력이 뛰어난 무기체계라 할지라도 지속적인 작전수행이 불가능해진다.

외국의 경우 첨단과학기술을 총 동원해서 전투원 자체를 완전한 전투체계로 탈바꿈 할 수 있도록 각종 첨단장비를 최적화하여 부착하고 전투원의 생존성을 높이고 장기간 작전을 수행할 수 있도록 전투스트레스를 줄이는 방향으로 발전되고 있다. 그런데 이때 사용되는 각종 첨단장비는 공통적으로 인간의 기본적인 기능을 증폭하는 수단이라는 점에 착안하여 인간 감각기능과, 보행 등 각종 구동 기능, 전술적 상황판단 능력 등을 대폭 증폭시키는 방향으로 분석했다.

인간의 능력과 기능을 대폭 증가시킨다는 개념은 전투현장에서 부상을 당한 전투원과 사회에서 선천적으로 장애를 안고 있는 사람들에게 까지 긍정적 효과를 준다는 점에서 파급력이 크고 군이 국가와 국민에 보여줄 수 있는 기여도를 제고하는데 기여할 것으로 예상된다.

# I. 연구개요

## 1. 연구배경 및 필요성

### 가. 연구의 배경

21세기 군사과학 기술의 획기적인 발전은 아직도 진행형이다. 이에 따라 지식·정보기반의 NCOE<sup>1)</sup>, 효과기반 작전, 정밀 타격전, 동시통합전, 4세대 전쟁, 제한전쟁 등 전쟁수행 방법과 전쟁에 대한 새로운 개념 속속 등장하고 있다. 이미 세계적으로 전면전의 성격이 점차 약해지는 추세이지만 오히려 종합적 판단력이 절대적으로 요구되는 전쟁의 성격을 보이고 있다.

최근 기술발달 현상을 살펴보면 인간을 압도하는 ‘알파고<sup>2)</sup>’등과 같은 인공지능의 등장으로 세상을 놀라게 했으며 이미 인공지능을 탑재한 무기체계를 개발하기 위해 군사선진국에서 활발한 연구와 막대한 금액의 투자가 이어지고 있다. 그러나 무인화 된 전투장비 (흔히 군사로봇)가 우리 안보에 기여해 줄 것이라는 긍정적인 기대와 달리 이미 개발된 로봇들의 지능은 아직도 바퀴벌레 수준을 벗어나지 못하고 있다. 인간은 만물의 영장으로 종합적인 판단능력이 뛰어나다. 단지 신체 조직 상대적으로 약하다는 단점을 지니고 있을 뿐이다.

따라서 인간의 우수한 기능을 최대한 활용하고 다른 기능을 증폭하여 새로운 시대에 적합한 무기체계 개발에 관한 연구가 절실히 필요하다.

### 나. 연구목표

본 연구는 개인전투체계 소요제기를 목표로 작성한다. 향후 10년 이내 구현 가능한 기술수준을 바탕으로 인간의 기능을 증폭하여 무기화 하는 방안을 모색하고 사회적으로 관련 기술이 장애인을 위해 활용할 수 있는 Spin Off 방안 구상을 위한 기초 자료를 제공한다.

---

1) Network Centric Operations Environment(네트워크 중심 작전환경)

2) Alpha Go (인공지능 바둑 게임)

## 2. 연구 범위 및 방법

### 가. 연구의 범위

미래 전장 환경과 지상전장 운용에 관한 분석은 이미 발표된 문헌연구를 통해 연구되었다. 주변국 과학기술 개발 및 무기체계 획득 추진실태 분석은 기존 연구 자료와 전문가 토의를 통해 도출하였으며 육군의 미래 지상작전 운용 개념을 통하여 미래 지상무기체계 발전방향에 관한 큰 틀을 제시하였다.

특히 운용개념과 교리측면에서 미래 지상무기체계 발전에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되며 군 내외 많은 기관과 국회와 언론에서 주요 관심대상이 되고 있는 개인 전투체계에 대한 과제를 선정하였다.

개인 전투체계는 우선 현용전력 운용체계를 점진적으로 발전시킨다는 가정하에 우선적으로 도입할 수 있는 분야를 우선 과제로 선정하였고 향후 무인무기체계, 사이버 전력, 군사적으로 전환 가능한 최신 과학기술과 접목한 미래 개인전투체계 발전방향을 검토하였다.

육군의 전투원의 인명을 중시하는 사조와 연계하여 전장에서 전투원의 생존성을 향상시킬 수 있는 방호능력과 부수적 피해(Collateral Damage)에 의한 불필요한 오해와 논쟁을 예방할 수 있도록 비살상 무기체계를 함께 고려하였다.

### 나. 연구의 방법

연구 수행은 준비 단계부터, 현황 분석단계, 대책 제시단계, 연구 종료단계로 구분하여 단계적으로 수행할 것이다. 준비 단계에서는 연구 목표와 연구 범위를 구체화 하고, 현황 분석 단계에서는 활용 가능한 자료들을 수집하고, 대책 제시단계에서는 현용기술과 미래 적용 가능한 기술력을 바탕으로 인간의 능력을 최대한 증폭할 수 있는 대책을 도출하고, 연구 종료 단계에서는 연구 결과를 바탕으로 국민 복지와 연관된 활용가능 분야를 제시한다.

### 1) 국방 소요기획체계의 특징 분석

국방 전력발전 업무 훈련을 바탕으로 능력기반 소요기획체계에 대한 간략한 분석과 기획체계에서 고려되어야 하는 개인전투체계 운용개념을 제시한다.

### 2) 해외 개인전투체계 개발현황 소개

선진국에서 추진 중인 개인전투체계 발전 현황과 동향을 파악하고 제시한다. 특히 개인전투체계 개발에 도입된 개발 개념과 철학을 분석하고 향후 발생 가능한 윤리적 문제를 짚어본다. 현용기술과 접목 가능한 연구개발 기술들의 개발 현황을 파악하여 독자적인 무기체계 개발을 위한 밑거름을 제공한다.

### 3) 인간 능력 증폭 가능 분야별 분석과 현실기반 대책 제시

마지막으로, 인간 신체의 센서 기능에 의한 정보수집과 의사결정, 근력을 이용한 행동, 도구를 사용한 목적달성 등으로 분야를 세분화한다. 인간의 센서 기능은 주로 시력·청력·방향감각 등을 중심으로 증폭할 수 있는 방안과 구현사례를 제시한다. 의사결정기능은 전술네트워크와 연동한 각종 전술현황 자료를 공유하고 **C4ISR**<sup>3)</sup> 시스템을 이용하여 지휘관의 전술관을 공유한다. 또한 헬멧에 부착된 **HMD**<sup>4)</sup>에 가상현실과 증강현실을 구현하여 인간고유의 의사결정기능을 최대한 증폭한다. 기동성을 이용한 행동분야는 현재 개발된 **Exoskeleton** 등의 개념을 한 단계 발전시켜 전기와 유압의 적절한 결합으로 작전 지속시간을 극대화하고 인간이 발휘할 수 있는 능력을 수십 배 증폭할 수 있는 방안을 모색한다. 도구를 사용하는 인간의 능력은 주로 개인화기와 공용화기의 사용분야로 국한하고 화력운용의 기본 구성요소를 바탕으로 신개념 증폭 방안을 제시한다.

---

3) Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance

4) Head Mount Display

## II. 미래 전쟁

### 1. 미래 전장 환경

21세기 군사과학기술의 발달 효과 : 획기적인 무기체계 발전, 전쟁목표, 전쟁수행개념, 방식의 근본적 변화, 급속한 미래 작전환경 변화

주변국 상황 : 아시아 패러독스 (경제분야 협력은 증가하고 있으나 역사인식과 영토·영위권 문제 및 북한 핵·미사일 갈등요인에 대한 안보보안정성은 증대되고 있음에도 안보협력은 낮은 수준) 현상,

미국은 국방예산을 감축하면서 ‘아시아 재균형 전략’ 수행을 위한 방안 모색 중, 이를 위해 군 규모 축소와 원거리 투사능력 제고하고 아시아 태평양 지역의 전력을 증강 하면서 동맹국들과 공조를 강화하고 있다. (일본과는 미·일방위조약, 한국과는 연합방위능력 강화)

일본은 2013년 12월 ‘국가안전보장회의’ 발족과 함께 2014년 7월 집단적 자위권 행사가 가능한 것으로 헌법 해석을 변경했으며 도서 침해 상황에 자위대 무력을 사용하여 국제평화활동에 기여한다는 자위대 후방지원 활동과 무기 사용 범위를 확대하였다. 이는 미일 방위조약 개정 소요를 발생 시켰고 중국의 군사력 증강과 북한의 핵·미사일 개발에 따른 안보위협에 대응하는 ‘통합기동방위력’개념을 제시하였다.

중국은 적극방어 전략을 기반으로 ‘정보화 조건 하 국지전 승리’를 달성하기 위하여 핵·미사일, 해·공군 전력 현대화 추진 중에 있다. 육군은 입체 기동작전 수행을 위해 육군항공, 기계화부대, 특수전부대를 발전시켜 공지일체, 원거리 기동 및 신속대응 능력 강화하고 있다.

해군의 원거리 작전능력 향상을 위해 18척의 수상 전투함을 추가 배치하고 2013년 항공모함을 칭다오 군항에 배치하여 전력화 진행 중이며

공군은 공격과 방어를 동시에 겸비하는 전략으로 최신 전투기, 지대공 미사일, 레이저 등 첨단무기체계를 발전시키고 있다. 특히 J-31, H-6k 등 스텔스 전투기와 장거리 폭격기 개발을 지속하고 있으며 스텔스 전투기는 이미 시험비행

에 성공한 것으로 알려져 있다.

러시아는 '강력한 군사력'을 바탕으로 '적극방어'전략을 표방하고 있다. 이미 군 구조 및 정원 개편 등 1차 국방개혁을 완료했고, 이후 핵 억제력을 유지하며 저장도 분쟁에 대비한 신속대응군 창설과 재래식 전력의 현대화를 추진 중에 있다. 특히 우주공간에서 우세 확보를 위해 100여기의 인공위성을 통하여 정보수집, 통신·항법에 사용하고 있으며 향후 전략 미사일방어와 위성방어 시스템을 통합한 항공우주방어체계도 구축할 예정이다.

북한은 적화통일을 목표로 핵과 미사일 개발을 지속하고 있으며 남한으로부터 실리를 획득하기 위해 '도발→대화→보상→도발'의 고리를 반복하는 화전양면 전술과 위장평화공세를 지속하고 있다. 북한은 핵·미사일을 연속 발사하고 소형 무인기, 대규모 해상사격도발 등이 이어지면서 제5차 핵실험과 영변 핵시설 재가동, 잠수함 발사 탄도미사일 실험과 함대함 미사일 발사, 지대공 미사일 발사 등 미사일 개발을 지속하고 있고 비무장비대 목함지뢰를 설치하여 인명을 살상 하는 등 위기를 고조시키며 핵보유국으로 인정받으려는 노력을 계속하고 있다.

북한은 사상전, 기습전, 배합전, 속전속결 등 4대 군사전략을 유지한 채로 다양한 전술을 모색하고 있으며 김정은 권력승계이후 전면전 수행태세를 강화하고 있다. 특히 남한을 상대로 한 미사일 등 대량살상무기와 장사정포, 수중전력, 특수전 부대, 사이버 부대 등 비대칭 전력을 집중 증강하고 있다.

북한의 지상군은 총참모부 예하 10개 정규군단, 2개 기계화군단, 평양방어사령부, 11군단, 1개 기갑사단, 4개 기계화 사단으로 편성되어 있다. 해군은 동·서해 2개 함대사령부와 13개 전대, 2개 해상 저격여단으로 구성되며 공군은 항공 및 반항공사령부 예하 4개 비행사단, 2개 전술수송여단, 2개 공군 저격여단, 방공부대로 구성되어 있으며 최근 정찰 및 무인기를 생산 배치하고 있다. 특히 북한의 미사일 개발은 이미 1980년대에 한반도를 위협할 수 있는 300Km 사거리의 SCUD-B와 C를 작전 배치하고 1990년대에 사거리 1300Km의 노동미사일, 2007년에 사거리 3000Km의 무수단 미사일 등을 작전배치 하였고 1998년부터 2012년 까지 수차례 대포동 미사일 시험발사를 통해 미국 본토를 위협할 수 있는 능력을 보유한 것으로 추정된다.

## 2. 최근의 주목할 기술

최근 과학기술의 주요 이슈는 전자·통신·에너지·나노·항공우주·신소재·무인화·인공지능·생명공학 등으로 압축된다. 특히 이들 분야는 대부분 민간기술이 군사부분을 선도하고 있으며 군사과학기술 발전에 큰 파급효과를 가져오고 있다.

정보통신의 경우 기존 전산화 시스템에서 정보화 지식화를 거쳐 유비쿼터스 시대로 접어들고 있으며 처리기술은 이미 초당 테라바이트를 초과하는 수준에 이르고 있다. 메모리는 지난 20여년간 1,000배이상 증폭한 상황이다. 군사적 차원에서 실시간 정보획득, 전파, 관리를 통한 공통 상황인식과 정보융합에 따른 NCW<sup>5)</sup> 작전환경을 제공하고 새롭게 등장한 사이버전을 통한 새로운 전쟁양상의 부상을 초래하였다.

나노기술은 센서·구동장치·구조의 차원에서 MEMS와 NEMS, PEMS<sup>6)</sup> 수준에 이르고 있으며 재료공학을 주축으로 물리·화학·바이오/의학·전자·수학 등의 학제에서 융합과 기술적 혁명을 선도하고 있다. 특히 군사적 차원에서 초정밀 시스템 설계, 극소형 센서 개발을 통해 무기체계 소형화, 경량화를 현실화하고 정밀타격체계 및 재래식 무기의 지능화·자율화 구현에 기여할 것으로 예상된다.

생명공학의 경우 인간의 유전정보 해석과 분석에 따라 특징적인 질병유발 유전자를 확인하고 활동을 억제하여 치료 및 예방이 가능할 수 있도록 했다. 바이오 센서기술은 인간의 생체환경과 연관된 자동시스템의 출현을 가능하게 하였고 군사적 차원에서 나노기술과 융합하여 나노·바이오 유전자 백신과 전투 중 발생한 외상의 응급지혈제 개발을 가능하게 하였다.

에너지 분야의 경우 기존의 화석연료와 화약으로 대표되던 에너지를 원자력을 거쳐 태양열, 수소, 생체에너지 등으로 발전시키고 에너지 출력을 향상시켜 일반적인 와트 단위 출력에서 용도에 따라 테라 와트 규모까지 성장해가고 있다. 군사적 차원에서 고에너지를 이용한 HEL<sup>7)</sup>, HPM<sup>8)</sup>, EMP<sup>9)</sup>, 음향무기 등

5) Network Centric Warfare (네트워크 중심 작전)

6) MEMS :  $10^{-6}$ 미터 크기를 다루는 전기·기계 시스템, NEMS: MEMS의 1/1000을 다루는 시스템, PEMS : NEMS의 1/1000을 다루는 시스템

7) High Energy Laser (고에너지 레이저 포)

의 개발과 운용이 가능해 졌으며 앞으로 새로운 에너지를 개발하여 초고속비행과 정밀 장사정 타격 및 위력이 현격이 증가한 유도무기 개발에 적용될 것으로 예상하고 있다.

과거 플랫폼 기반의 기술은 적의 탐지능력을 감소시키기 위한 수동 스텔스 기술에서 점차 능동적으로 주변의 열선과 조화를 이루며 은폐하고 전자파와 음향 등 플랫폼에서 발생하는 다양한 신호를 조작할 수 있는 능동 스텔스 방향으로 발전하고 있다. 구조적 측면에서 일체형 복합체 형태를 탈피하고 노노 복합 스마트 구조체로 발전하고 있으며 플랫폼의 기동을 원격 제어하던 시대에서 정밀 자동·자율제어가 지배하는 시대로 접어들고 있다.

무인무기체계 및 자율제어와 관련하여 알파고<sup>10)</sup>의 등장과 함께 인공지능이 새롭게 조명 받고 있으며 향후 기동형 슈퍼컴퓨터의 등장과 함께 보안 클라우드 환경을 조성하여 무인무기체계가 슈퍼컴퓨터에 의해 작동되는 인공지능의 지원을 받으며 NCW 환경에 등장 할 것이 예상되고 있다.

특히 주목할 것은 지금까지 소개된 기술들이 개별적으로 발전과 변화를 초래하는 것이 아니라 다른 학제적 연구들과 융·복합하여 새로운 가능성과 새로운 운용개념이 탄생한다는 것이다. 나노 프로세서와 쿼텟 컴퓨터 및 혁신적인 정보처리 기술의 융합으로 인공지능은 기하급수적으로 발전할 것이다. 생명공학과 정보·인지능력의 융합은 인공지능 로봇의 출현을 앞당기고 나노·생명·정보·인지·에너지 기술의 융합은 조기 경보와 신속대응체계를 구비한 미래 개인 전투체계(안테나, 광전지, 컴퓨터, 센서, 초음파 감지, 보온기능 보유)에 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

무인무기체계는 전장의 인명손실 우려에 대한 대안으로 제시되었다. 작전현장의 위험도를 감소시키고 향후 과감한 작전수행을 가능하게 만들기 때문이다. 앞으로 무인전투기, 이동식 전장 센서용 로봇, 전투로봇, 공격용 무인 잠수정 등의 무인무기체계의 실용화가 멀지 않은 것으로 전문가들은 판단하고 있다.

---

8) High Power Microwave (고출력 전자파)

9) Electro Magnetic Pulse (전자기파)

10) Alpha Go : 바둑분야에서 선보인 대표적인 인공지능 프로그램

전통적인 화약기반 타격수단에 있어서도 새로운 변화 예고되고 있으며 레이저 무기, 전자기포 및 비살상 수단의 등장이 예견되고 있다. 또한 물리적 공간을 벗어나 새로운 전투공간이 확장되고 있으며 우선적으로 우주공간이 우리생활에 미치는 영향이 증대함에 따라 우주공간을 군사적 목적으로 보호하거나 활용하려는 시도가 증가하고 있으며 이미 활용해야할 전투공간으로 정의되어 있다. 정보화 분야에 있어서 이미 사이버 공간은 현대인에게 없어서는 안 될 중요한 공간으로 자리 잡고 있는바 그 공간에 대한 의존도가 높아지고 있다. 군사적 공간으로서 사이버공간에서 벌어지는 여러 전투 활동과 이에 수반된 과학기술의 지속적인 등장은 계속될 것으로 예상된다.

### 3. 재래식 전력 운용 전망

기존에 사용했던 재래식 전력 또한 원거리 신속투사에 중점을 두고 발전할 것이다. 신속결정전을 기반으로 지상 전력을 대표하는 전차와 화포는 현재의 운용개념을 크게 바꾸지 않고 유지될 전망이다. 그러나 자동화 기술의 발달에 따라 자율주행이 적용되고 운용인력 감소 효과를 추구하면서 자율주행 기반 무기체계 등이 등장할 전망이다. 그러나 인간을 대신하는 무인 전투체계의 등장은 상당기간 등장하기 어려울 것으로 예상된다. 이렇게 예상하는 이유는 우선 무인전투를 수행할 만큼 피아식별 능력이 성숙하지 않았기 때문이다. 지금도 전차에 피아식별 장치를 부착하고 항공기 공격으로부터 보호 받을 수 있는 장비를 사용하고 있으나 이는 인간이 운용한다는 전제하에 가능한 것으로 인간의 판단력 없이 현실화되기 어려운 분야이기 때문이다. 특히 이미지 처리 능력은 아직도 3차원 공간을 2차원으로 단순하게 다루고 있고 이를 공간상의 3차원 이미지를 만들어 내기 위해 LADAR등 고가의 장치가 필요하지만 3차원 이미지를 만들어 내더라도 사물을 식별할 수 있는 능력을 갖추기 까지 아직 요원하기 때문이다.

앞에서 언급한 무인 및 우주체계 발전과 관련하여 우주기반 원거리 광역 정밀 감시정찰체계와 실시간 지휘통제체계가 발전되고 원거리 신속투사를 위한

각종 무기체계와 정밀 타격체계가 실용화 될 것이다. 기존의 핵무기는 이미 세계 여러 나라에서 중요한 억제전력으로 개발되었으며 앞으로도 급속한 기술 발달에 힘입어 질적인 도약이 예상되고 있다. 전술핵은 소형화 정교화 하여 지하 깊숙한 곳에 은닉하고, 이에 대응하여 주요 지휘시설은 더욱 고강도 지하시설로 강화될 것이다.

#### 4. 한반도 작전환경을 고려한 미래전 양상

한반도 작전지역은 산악과 도시지역으로 크게 구분할 수 있다. 이미 잘 알려져 있다시피 우리나라는 국토의 70%가 산악지역으로 구성되어 있으며 북고남저, 동고서저, 동서로 뺀 산맥과 하천의 영향으로 군사작전을 수행하기에 기동과 화력운용이 제한되며 산악지역이 만들어내는 협소한 계곡과 제한된 도로를 통해 차량 기동은 가능하나 협조된 작전수행은 곤란하다. 울창한 산림과 기복이 심한 지형은 지휘통제, 통신, 관측에 어려움을 주며 화력효과를 감소시키고 은폐와 엄폐, 기도비닉 유지에 유리하다. 산악의 고저에 따른 극심한 기상 변화는 전투지속지원과 장비 성능 발휘를 제한한다. 도시지역의 경우 1960이후 급속한 공업화와 도시화로 현재 도시지역은 전국토의 17%를 차지하고 있으나 전체인구의 90%이상이 도시지역에 거주하고 있다. 남북한 대도시는 대부분 국토의 서부지역에 위치하고 있으며 도시지역은 앞으로 계속 확장되고 인구 유입도 계속될 전망이다. 향후 군사작전에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 도시지역의 작전은 매우 복잡하고 어려우며 많은 손실을 강요받는다. 도시지역의 인공장애물들은 야전부대의 작전적 장점을 감소시키고 화력운용의 요과도 구조물의 배치에 큰영향을 받으며 상당히 많은 병력 투입을 요구하고 작전 소요시간이 길며 대부분 공자에게 불리하며 상당히 높은 비전투원 사상자를 초래하는 특징이 있다.

〈표 2-1〉 과학기술이 지배하는 전쟁의 주요특성

구 분	걸프전	코소보전	아프칸전	이라크전
ISR (표적 탐지율)	15%	-	-	70%
C4I (센서-슈터 사이클 속도)	80분	-	20분	12분
PGM (총 사용폭탄 중 비중)	7.8%	35%	60%	80%

한반도의 기상은 작전수행에 매우 중요한 요소이다. 연간 3~4개월간 안개와 강우로 인해 항공전력 운용이 제한되며 일반적으로 항공작전은 악 기상으로 인해 20~50%가 차질을 발생한다. 우리나라의 경우 약 3일중 1일은 전투기 운용이 제한되고 기상 악 조건 하에서도 작전할 수 있는 전천후 전력발휘가 가능한 부대가 매우 필요한 상황이다.

<표 2-1>에서 보는 바와같이 최근 걸프전, 코소보전, 아프칸전, 이라크전 등의 전쟁을 돌이켜 봤을 때 합동성·동시성·통합성에 기초한 전쟁 수행개념이 효율적이며 주목받고 있는 상황이다. 1991년 걸프전을 통해 새로운 현대 전쟁양상이 시작됐다고 볼 수 있는데 미국주도의 4대 전쟁의 특성은 <표 2-1>과 같다. 걸프전과 이라크전을 비교하면 ISR에 의한 표적 탐지율과 정밀유도무기를 이용한 정밀 타격의 의존도는 대폭 증가되고 C4I 기술에 의한 센서-슈터 간 사이클 속도는 대폭 단축되었다. 이에 따라 전장운용개념은 <표 2-2>에서 보는 바와 같이 변화했다.

첨단 정보기술을 바탕으로 감시정찰, 지휘통제, 정밀타격의 융합을 통해 접적·선형·근거리 전투에서 비접적·비선형·원거리 전투로 변화하고 있는 모습이 가장 두드러진 특징이라 할 수 있다. 기존의 무기체계들은 네트워크 중심의 작전환경으로 변화하고 있고 다차원 시공간 상에서 제반 능력과 활동을 유기적으로 연동시켜 전력운용 승수효과를 추구하고 있다. 과거 영토점령 등 지형적 목표확보나 물리적 군사력 파괴에 의존한 전쟁종결방식은 감시정찰 및 정밀타격 능력을 기반으로 적의 중심을 타격하는 효과중심작전에 의해 전쟁목표 달성을 추구 할 것으로 예상되어지고 있다.

### 〈표 2-2〉 지상전 운용개념의 변화

- 전천후 감시·정찰 : 적 중심 식별
- 효과위주 정밀타격 : 적 능력, 의지 말살
- 결정적인 기동 : 전투 종결
- 정보 전자전, 심리전 : 적 능력, 의지 말살
- 비대칭전력과 전술 활용 : 전장 주도권 장악 및 효율적 승리 보장
- 적극적 방호, 효과적 지원 : 전투력 극대화

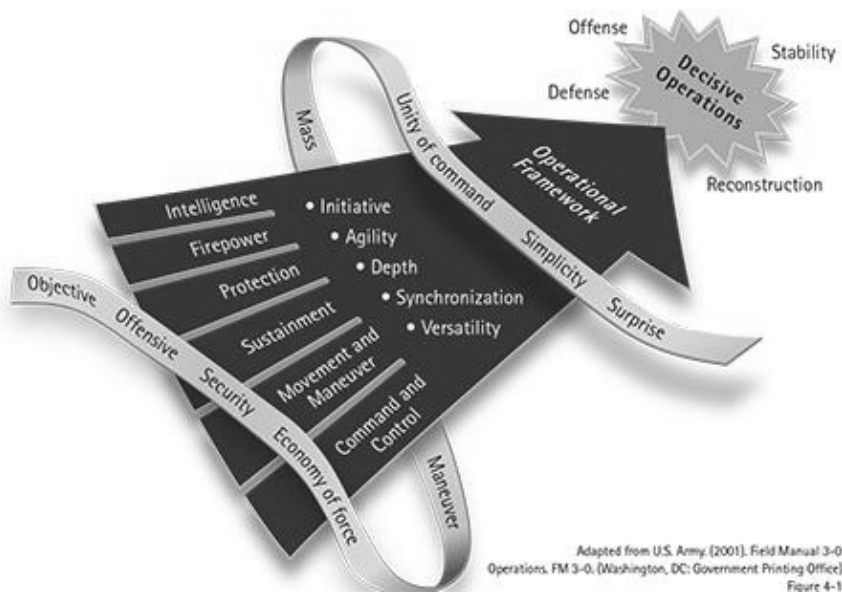
미래전에 관한 연구는 전략전술 개념이나 과학기술 발달에 힘입어 새롭게 시도되었다. <표 2-3>에서 보는 바와 같이 다가올 미래의 새로운 전쟁 양상은 아날로그에서 디지털로, 하드웨어 중심에서 소프트웨어 중심으로, 개별 플랫폼 체계에서 네트워크 복합체계로 전투수단 및 전장이 변화하고 네트워크전, 시스템전, 반-네트워크전, 정보전과 사이버전이 심화되며 첨단 장사정 유도무기 발달에 따라 장사정 정밀 미사일전의 양상, 첨단 유무인 플랫폼의 등장에 따른 신속 기동전, 로봇에 의한 로봇전이 예상되어지고 있으며 비살상 무기체계의 개발에 따라 비살상전의 양상이 두드러진 주요 특징으로 나타날 것으로 예상하고 있다.

### 〈표 2-3〉 미래전 이론에 따른 전쟁 양상

전쟁/전투수단의 변화	미래전 양상
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아날로그 → 디지털 체계</li> <li>• 하드웨어 중심 → 소프트웨어 중심</li> <li>• 개별 플랫폼 체계 → 네트워크 복합체계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 네트워크전/시스템전</li> <li>• 반-네트워크전/정보전, 사이버전</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반 단사정 무기체계 → 첨단 장사정 무기체계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미사일전(장사정 정밀 타격전)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유인 플랫폼 → 첨단 무인 플랫폼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식속기동전, 로봇전</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 살상무기 → 비살상무기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비살상전</li> </ul>

한반도의 미래전은 북한의 국지도발이나 전면전, 주변국과의 정치적 갈등에 의해 발생할 가능성이 높으며 최근 미국을 중심으로 수행된 전쟁을 고려해 볼

때 첨단화된 무기체계를 통한 정교한 전투수행 방법이 적용될 것으로 보인다. 우선 한반도 지역에서의 전쟁은 산악지역과 도시지역에서의 전쟁이 주를 이룰 가능성이 높다. 또한 북한의 특수전 비대칭 위협을 통해 인식할 수 있는 것처럼 비선형 전투수행 방법이 보편화 될 것이다. 최근의 전쟁 분석을 통해 보편화된 전장 정보에 대한 의존도가 높아지게 됨에 따라 상대의 심리를 마비시키기 위해 과거 물리적 파괴나 영토 확보의 개념이 아닌 적의 정보 및 네트워크 능력을 파괴하여 전장을 통제할 수 있는 능력을 상실하게 하는 개념으로 변화할 것이며 심리적 마비효과 극대화에 중점을 둔 효과중심작전을 통해 수많은 정보 속에서 필요한 정보만 추출해 사용하는 지식·정보 중심전이 될 가능성이 높다. 이를 통해 전투력 운용능력과 시스템 효율성을 극대화 하고 점차 인간적 요소의 중요성이 새로운 이슈가 되면서 무인 무기체계를 활용한 유무인 전투방식에 의해 수행될 것이다.



[그림 2-1] 결정적 작전 개념도

육군이 미래를 대비하며 무엇을 대비하고 어떻게 싸울 것인가에 대한 기본 방향은 지상전 기본개념이라고 불리는 ‘공세적·결정적 통합작전’이다. 미래 네

트위크 중심 작전환경과 임무형 지휘를 기반으로 기능·노력·영역을 통합하여, 전투력을 선제적·능동적·주도적으로 운용하고, 단기속결로 적의 중심을 마비시켜, 최소의 전투와 최소의 희생으로 지상전에 승리하는 개념이다. 이때 결정적 시간과 장소에 통합해야 하는 대상은 전투수행의 각 기능의 역할과 활동이며 감시·정찰·결심·타격의 군사적 노력 및 비군사적 노력을 포함하고 있다. 지상작전 기본개념 구현의 핵심은 [그림 2-1]과 같이 NCOE하에 빠르고 합리적인 전투지휘주기와 주도권을 확보한 가운데 결정적 시간과 장소에 전투력을 집중 운용하여 상대적 우위를 달성하고 수세적 위치에 있는 적을 마비시켜 전투의지를 상실하게 하는 것이다. 북한의 비대칭 전력에 대한 대응방법으로 역비대칭 전력을 활용하고 적의 강점을 무력화 시키고 약점을 지향하는 비대칭·비선형 전투를 수행한다. 또한 신속 결정적 기동을 통해 적 중심을 마비시켜 군사작전을 단기간에 실질적으로 종결해야하고 정부기관, 비정부기구, 지역주민 등 비군사영역을 효과적으로 통합해야 한다. 한반도의 전쟁은 재래전, 비정규전, 사이버전, 전자전, 미디어전 등 다양한 위협이 복합적으로 혼재된 하이브리드 전이 될 것이며 효과적인 작전지속지원 능력을 통하여 지상전의 승리를 보장할 것이다.

미래 지상작전 범주는 「'21~'28 미래 합동작전기본개념서」와 연계성을 유지하며 미래 작전환경과 지상작전 부대의 역할을 기초로 국지도발, 전면전, 잠재적 위협, 사이버작전, 비군사적 위협 대비 작전 및 평화작전으로 구분하고 있다. 국지도발은 능동적으로 억제하고 유사시 선제적·결정적인 대응으로 위협을 제거하며 이전의 상태로 회복하는 것이고 전면전은 적이 다양한 형태의 도발을 통해 혼란을 조성하고 점차 강도를 증가해 남한 전체가 대혼란상태가 되면 비대칭 전력으로 아 중심을 마비시킨 이후 재래식 전력에 의한 한반도 석권에 대응하는 것으로 초기 적의 도발과 공격의 효과적인 억제가 중요한 요소로 작용하며 억제 실패 시에는 공세적으로 전투력을 운용하여 결정적 승리를 달성하는 것이다. 특히 개전 초기부터 적 지역으로 작전지역을 확대하고 결정적 기동으로 적의 전략적 중심을 고립·마비시킨 후 북한지역을 조기에 확보하고 제 3국의 개입을 방지한 후 잔적을 격멸·소탕하며 이후 안정화 작전을 통해 정부 통치를 지원한다. 잠재적 위협은 적극적 방위를 통해 영토 밖에서 격퇴하는 것

이다. 사이버 위협은 고도화·정교화 된 변종 악성코드와 APT 공격 등 전자적 수단에 의한 국가 정보통신망을 직접 교란하고 특정대상을 집중적으로 공격하는 방향으로 진화하고 있으며 사이버 작전은 공세적인 사이버 통합작전을 수행하여 군사작전의 목표를 달성하는 것이다. 비군사적 위협에 대응한 국가의 질서 확립 작전은 대테러, 재난 대비 지원, 정부정책 지원 등의 형태로 진행되며 평화작전은 국제사회와 협력하여 국외 위기상황이나 분쟁을 억제하고 평화를 정착시키며 재건지원과 합법정부로 이양하기 위한 작전이다. 주로 안정화작전을 수행하고 독자적인 작전수행을 위해 충분한 규모로 편성된 적응성과 기동성을 갖춘 전문 보병 여단급 규모 상비부대로 편성한다.

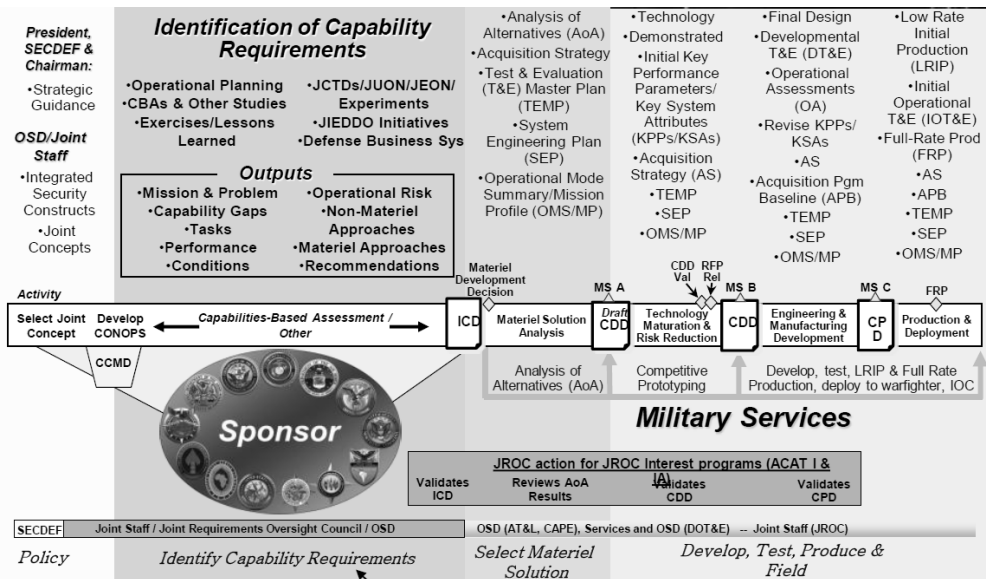
### Ⅲ. 미래 개인전투체계 발전방안

#### 1. 국방소요기획체계 (JCIDS<sup>11</sup>)를 중심으로

JCIDS는 미래 방위사업에 대한 미 국방성의 획득 요구사항이나 평가 요소에 대한 공식적인 절차를 말한다. 과거 각 군이 필요로 하는 전투물자를 각각 도입에 따른 각 군 간에 불필요한 낭비와 중복투자 현상이 발생하는 문제점을 개선하기 위해 도입한 것으로 육·해·해병·공군 등 각 군이 통합된 작전을 수행하는 각 전투사령관에 의해 소요제기가 이루어지도록 규정한 것이다. 궁극적으로 미래 획득체계 소요개발 가이드를 제공하기 위한 것으로 각 군의 요구사항을 반영하고 각 전투사령관에 의해 필요한 능력(Capability)을 기반으로 요구되거나 정의되도록 했다. 우리 군도 미군과 크게 다르지 않았다. 각 군은 어떻게 싸울 것인가에 대한 고민보다 경쟁적으로 자군 중심의 소요제기를 했다. 그러다 합참을 중심으로 합동성을 강화하고 합동작전 차원에서 물질적 비물질적 대안을 함께 고민하는 합동 전력발전 체계가 정립되게 되었다. 우리 군이 도입한 JCIDS 과정은 꼭 필요한 능력을 제대로 요구하는 소요 제기가 핵심이다.

---

11) JCID : Joint Capability Integration and Development System



[그림 3-1] Joint Capability Integration Development Process

이번 장에서는 한국군의 JCIDS가 아직 정착된 단계가 아님으로 미군의 JCIDS를 중심으로 소개하고자한다. JCIDS는 현재 합동전투능력과 국가의 전략 지침, 합동 개념, 작전개념, 안보지침을 중심으로 미래 합동 전투능력을 건설하기 위한 논리적 사고과정으로 구성되어있다. 우선 현재 합동전투능력에 대한 철저한 평가를 통해 미래 도달하고자 하는 목표와의 차이점을 식별하고 이 차이점을 극복할 수 있는 비물질적이거나 물질적인 접근방법 제시 통해 작전수행 요구사항을 식별한다. 이후 미래 합동 전투능력 건설을 위해 우선 비물질적 해결방안을 우선 제시하고 나머지 꼭 필요한 부분에 대해 물질적 접근방법을 요구한다. 미군의 경우 물질적인 요구사항이 식별된 이후 JCIDS와 함께 큰 축을 이루는 획득체계(DAS<sup>12</sup>)와 예산의 효율적 사용을 위한 국방 기획체계(PPBE<sup>13</sup>)를 통해 물질적 요구사항에 대한 획득 절차가 진행된다. 획득체계의 경우 미군은 물질적 해결방안이 결정된 이후 비용을 분석하고 예산을 확보하고 설계·개발·시험 과정을 거쳐 양산·배치의 절차를 따라간다. 이때 국방기획체계는 국가

12) Defense Acquisition System

13) Planning, Programming, Budgeting, Execution

지침과 안보지침을 기초로 기획·계획 활동을 실시하고 국회 심의와 동의를 거쳐 필요한 예산을 확보하고 지출하는 과정을 거치게 된다.

[그림 3-1]에서 보는 바와 같이 JCIDS의 시작은 국방부 장관의 전략지침을 통한 개념정립으로부터 시작한다. 이후 각 군 참모총장이 합동 참모회의를 거쳐 전력 전개 시나리오를 작성한 후 합동 소요검증위원회(JROC14)에서 작전과업과 전투요소를 포함하여 일차 평가를 실시한다. 통상 능력(Capability)이란 특정 방책을 실행할 수 있는 능력(ability)을 의미하고 소요(Requirement)란 어떤 조직에 부여된 역할이나 기능, 또는 현재나 미래에 부여된 임무에 부합하기 위해 필요한 능력(Capability)를 말하는 것으로 일반적으로 말하는 소요는 '초안' 또는 '제안서' 수준으로 인식하고 있으며 권위 있는 기관의 승인에 의해 소요로 인정된다.

이후 각 전역과 부여된 임무 및 교전 시나리오를 바탕으로 작전적 모델을 구체화 하고 이를 통해 현재 작전능력과 과부족 차이점을 식별한다. 능력 차이(Capability Gap)은 어떤 특별한 방책을 수행하지 못하는 능력(inability)을 말하는 것으로 능력기반 평가(CBA15)에 의해 식별된 과부족에 대해 몇 가지 대안을 제시할 수 있는데 일반적으로 새로운 방법으로 전환하는 방법, 현 전력을 진화적으로 발전시키는 방법, 또는 정보기술을 이용한 방법 등이 사용된다. 식별된 과부족 능력에 대하여 각 군에서 전투발전 요소별 해결방안을 제시하고 이후 국방부에서 종합하여 부족한 능력을 구체화 하는 로드맵을 작성하고 자원을 효율적으로 사용할 전략을 세우면서 진행된다. 능력기반 평가를 마쳤을 때 초기 능력서(Initial Capability Document)와 전투발전요소 변경 소요서(DOTMLPF Change Recommendation) 등의 문서가 생산된다. 초기능력서의 경우 능력기반 평가(CBA) 결과에 따라 전력 공백과 작전성능속성(Operational Performance Attributes)을 식별하게 되는데 이때 식별된 작전운용속성은 제안된 시스템을 설계하는데 꼭 필요한 속성으로 운용에 대한 기준선을 제시하고 중요성능요소(KPP16)개발에 대한 지침을 제시한다.

---

14) Joint Requirement Oversight Council

15) Capability Based Assessment

주요성능요소(KPP)는 효과적인 군 능력개발에 결정적이거나 근본적이라고 여겨지는 시스템의 속성이나 특징을 말하며 합동작전 핵심개념에서 정의한 미래 합동전력 건설에 필요한 특징에 현격히 기여할 수 있는 속성을 말한다. 주요성능요소는 시험평가를 통해 소요절차에 피드백 될 수 있도록 시험 가능한 것 이어야 하며 합동 소요검증위원회를 통해 확인된다. 이때 주요성능요소는 의사결정 지원을 위해 측정·시험·정량화가 가능해야 한다. 주요성능요소 중 반드시 포함해야 하는 것으로는 부대방호, 생존성, 지속성, 준비태세, 훈련, 에너지 등을 포함한다.

전력발전을 위한 국방부의 의사결정지원 체계는 JCIDS 뿐만 아니라 획득체계인 DAS와 예산의 획득과 관련된 국방획득체계 PPBE 절차 등이 있지만 JCIDS는 국방부 획득과 예산사용을 위한 의사결정에 가장 중요한 의사지원 절차라고 볼 수 있다. 과거 위협기반 소요기획체계에서 능력기반 기획체계로 바뀌게 된 주요 의도는 군 현대화의 선도적 역할을 수행하기 위해서다. 우선 어려운 사안에 대해 토의하고 어려운 선택은 최대한 조기에 마무리 짓고 비용·일정·성능에 대한 신뢰도를 높이고 요구사항과 능력에 대한 우선순위를 정하는 부분을 강화했다. 또한 한번 결정된 것이 영원히 불변하는 것이 아니라 필요에 따라 전력발전 수명주기 동안 반복적이고 역동적으로 다시 검토하여 변화된 위협에 대한 전략적 수정 사항을 포함할 수 있게 했다.

특히 주목해야 하는 부분은 비물질적 대안이다. 실제로 전장의 전투원들에게 필요한 능력을 구비하는 것은 물질적인 것만이 대안이 될 수 없다. 전장에서 전투력은 전투발전요소(DOTMLPF17)의 균형된 종합적 발전에 따라 충분히 완성되어질 수 있다. 그래서 전투발전요소 전 요소에 대한 발전이 동시에 이루어지도록 하는 것이 전장에서 필요한 능력을 구비하는데 필수적이다.

---

16) Key Performance Parameter

17) Doctrine, Organization, Material, Leader Development, Personnel, Facilities

## 2. 한국군 개인전투체계

개인전투체계란 소부대 전술 네트워크와 연동하여 미래 디지털 전장 환경에 적응하고 효과적인 임무수행이 가능하도록 화기, 피복, 휴대품 등 혁신적인 첨단 기술을 적용한 것으로 병사를 단위 무기체계화 한 개념이라고 볼 수 있다.<sup>18)</sup>

현재 육군은 지상전 기본개념을 ‘공세적·결정적 통합작전’으로 설정하고 NCOE에서 빠르고 합리적인 전투지휘주기와 전장의 주도권을 확보하고 선제적이고 능동적이며 주도적인 전투력운용으로 적의 중심을 마비 하는 단기속결 개념으로 지상전이 끝났을 때 최소의 전투와 최소의 희생으로 지상전을 승리로 이끌겠다는 구상하고 있다.

특히 NCOE에서 지휘관의 상황인식과 신속한 의사결정만을 요구하는 것이 아니라 말단 전투원들에게도 공통상황인식과 주도적이고 신속한 의사결정으로 개인 전투원의 생존성을 크게 향상시켜 전장 환경을 주도적으로 이끌어 가는 것이라고 판단할 수 있다.

최근 발생한 연평도 포격도발과 천안함 폭침뿐만 아니라 연이은 미사일과 핵개발 등 북한의 위협은 불시에 예상치 못한 시간과 장소에서 가해질 것이라는 것을 확신시켜주고 있으며 소말리아 해적에 대한 특수전 부대 파병 등 해외 평화유지를 위한 파병요구의 증가와 분쟁지역 안정을 위한 요구의 증가는 앞으로 지상군에게 부여된 추가적인 임무임에 틀림없다.

또한 한반도를 포함하여 전 세계 도시화가 급속도로 진행되고 있다는 점을 고려하면 향후 주요 분쟁은 보병중심의 시가전이 될 가능성이 대단히 높다. 특히 방사형으로 뻗어있는 고속도로와 수많은 고층건물, 지하시설 등이 밀집한 도시지역 작전의 중요성을 더욱 증가하고 있다.

한국군의 개인전투체계는 네트워크중심 작전을 수행하기 위해 소부대 전술 네트워크와 연동하여 미래 디지털 전장 환경에 적응할 수 있고 효과적인 임무수행이 가능하도록 화기·피복·휴대품을 첨단화 하여 병사들의 전투수행 능력을

---

18) 미래 개인전투체계 운영개념 및 적정 작전요구능력 연구, 이춘주, 국방대학교 안보문제연구소, 2011

극대화 한다는 목표로 치명성, 지휘통제, 생존성, 임무지속성 및 기동성 이라는 5개 기본능력 범주에서 개발을 진행하였다.

치명성은 적 인원과 장비를 탐지·식별·파괴하는 병사의 능력을 의미하는 것으로 무기체계의 명중률·타격효과를 향상시키고 병사와 장비를 하나의 시스템으로 형성하여 발전시킨 개인화기 등을 포함하고 있다.

지휘통제 능력은 병사 개인, 화기, 장비, 정보 및 임무수행에 필요한 병사의 지휘통제 능력으로 하드웨어적으로 보면 병사의 무전기·컴퓨터 및 HMD<sup>19)</sup> 등이 속하고 이를 통하여 지휘통제통신이 통합되고 병사간 통신, 컴퓨터 통제장치, GPS, 정보취급 및 시청각 능력 향상이 포함된다.

생존성은 적과 교전 시 적 화기로부터 위협과 여러 환경조건에서 자신을 보호하는 병사의 능력을 말한다. 관련 하드웨어는 탄도·화염·열기, 화학적·생물학적 직접에너지, 감시 및 환경적 요인에 의한 위협 등에 대한 통합 방어 체계와 전시 열 피로에 의한 스트레스를 경감시키고 전투효율을 높이기 위한 개인용 냉방장치, 우군 간 피해방지를 위한 피아 식별기, 병사 생체상태를 파악하는 생체 모니터링 시스템 등이 포함된다.

임무지속성은 전술적 상황에서 병사의 임무를 장시간 유지시킬 수 있는 능력으로 동력 공급 장치, 개인용 정수장비, 전천후 야전식량 등이 포함된다.

기동성은 임무수행에 필요한 장비를 가지고 전장에서 신속이 이동할 수 있는 능력으로 주·야간 인원·군수품·장비가 신속한 공중투하가 가능해 지도록 튼튼하고 경량화 되도록 하는 것이며 야간 전투를 위한 화기용 야간 감시 장비도 포함된다고 볼 수 있다.

개인전투체계를 장착한 전투원은 각종 전자·통신장비를 포함하여 센서, 화기, 방호품목 등 요소를 통합하여 단위무기체계 개념으로 운용될 것이며 기존의 병사와 비교가 안될 만큼 고도의 전투능력을 발휘 것이다.

---

19) Head Mount Display

### 3. 해외 개인전투체계 개발현황

세계적으로 개인전투체계를 하나로 통합하고 미래 위협에 대응하기 위해 개인전투체계를 체계적으로 연구하는 것이 일반적이고 보편화 된지 오래다. 특히 미국과 유럽 등 군사선진국은 이미 상당부분 개발을 완료하고 제한적으로 전투지역에서 사용하고 있으며 일본과 중국을 포함한 아시아 지역뿐만 아니라 중동과 동남아시아 지역도 연구개발과 도입을 추진 중에 있다.

#### 가. 미국

미국의 개인전투체계는 **Future Force Warrior** 프로그램으로 소개되었다. 1990년대 초부터 미 육군 물자사령부(Army Material Command)의 NRDCE를 주축으로 개발이 시작되어 1994년 레이시온, 모토로라 등의 방산 업체와 함께 구체화되기 시작했다. 당시 미 육군은 지휘통신기능을 강화하고 외골격 강화복에 이르는 수많은 대안을 검토했으며 초기에는 네트워크 교전 능력 확대에 중점을 두었고 당시 현실적으로 적용할 수 있는 실전형 보병 체계로 기획되었다. 기본적으로 모듈구조 개념을 이용하여 설계하고 새로운 기술이 충분히 성숙해지면 새로운 모듈로 개발해서 기존의 체계에 조합하는 나선형 개발 기획방식을 적용했다. 이때 개발목적은 부대단위 작전능력 향상에 있었으며 이를 위해 병사 개인의 치명성·생존성을 향상시키고 명령전달과 의사소통, 지휘통제능력을 확보하는 것이 핵심 목표이었다. 초기 **Land Warrior** 라고 불렀던 개인전투체계는 기본적으로 무장, 방탄헬멧, 개인방호, 컴퓨터, 통합 네비게이션, 통신, 전원 공급 등 주요 7개 부체계로 구성되고 요구에 따라 추가적인 부체계를 장착해서 기능향상을 도모할 수 있게 구상되었다. 이때 몸통의 주요부위(팔 상박부, 가슴, 복부, 허벅지) 등에 방탄 보호 장구를 착용하고 병사의 등에 부착된 통신장비를 이용하여 음성 및 문자 통신이 가능해 지도록 구상했으며 전술 네트워크를 이용하여 각종 정보를 송수신 할 수 있도록 했다. 특히 헬멧은 GPS, 레이저 조준기, 비디오카메라, 단안식 고글을 장착하여 필요한 정보를 수집 또는 전시 할 수 있도록 했으며 **Noise Cancelling** 기술을 이용해서 전장의 소음으로부터 전

투원의 귀를 보호할 수 있도록 했고 각개 병사의 건강상태는 생체감지센서를 통해 지휘부에 전달되고 관리될 예정이었으며 이런 발전을 계속 이어 미래 병사구상 2030<sup>20)</sup>까지 이르게 되다. 미래병사 구상 2030은 2009년에 시작되어 미래병사의 장비와 무기 및 방탄 장비를 개발하는 것을 주 목적으로 했으며 주로 미래지향적 기술을 대폭 도입해 인지능력 증폭제, 추가동력 외골격 체계 및 인공지능 지원 등이 포함되었다. 미 국방부로부터 강력한 예산삭감 압력에 의해 2015년에 대부분의 계획은 취소되거나 변경 되었지만 미래 개인병사체계 발전을 위해 참고할 만한 가치가 있어 소개하고자 한다.



[그림 3-2] 미국이 추진하려 했던 개인전투체계

20) Future Soldier Initiative 2030, RDECOM, 2009

미래 병사구상 2030은 2009년에 제시된 발전방안으로 [그림 3-2]에서 보는 바와 같이 설계되었으며 미 육군이 앞으로 감당해야할 전장의 모습을 고려해 구상한 것이 아니라 병사들에게 최상의 장비를 갖추어 주겠다는 목적과 무한한 상상력을 자극하겠다는 취지로 제시된 것이다. 주로 병사들의 전투효율을 향상하고 작전수행 속도를 향상시키기 위해 병사들의 인지능력 향상을 강조했었다. 미래병사 구상은 병사들의 훈련과 수행능력향상, 방호, 치명성, 기동성과 전투 지속능력, 네트워크, 센서 헬멧과 로봇, 동력과 에너지 전달 등 7개의 주요 영역을 중심으로 개발하는 것이었으며 과거 **Land Warrior**와 비교할 때 병사들의 수행능력향상과 기동성, 네트워크 환경에 관한 관심이 증가된 것으로 보인다. 이 프로그램의 개념은 **RDEC, PEO-Soldier, Knowledge Centers for the Initial Future Soldier Concept System**팀의 협조 하에 **RDECOM** 예하 **NSRDEC**에서 주도적으로 이끌었다.

병사들의 임무수행 능력 향상을 위해 미래의 병사들에게 증강·가상현실 (**Augmented and Virtual Realities**)은 어디에나 존재하는 기술이 될 것으로 판단하고 있다. 이를 현실화 할 수 있는 통신관련 기술을 포함해서 데이터 전시, 시스템 제어, 훈련까지 모든 것을 포함하는 개념이다. 가상현실 체계와 게임기술은 병사 선발과 훈련에 포괄적으로 사용되고 훈련은 시간과 장소를 가리지 않고 가능하게 된다. 특히 훈련은 인공지능 소프트웨어의 도움을 받아 모든 병사에게 전장 **M&S** 사용이 일반화 되고 이를 통해 현재 주요 지휘관에게만 가능했던 지휘결심과 분석능력이 일반 병사들에게도 부여될 예정이었다. 또한 병사 피복체계의 여러 센서를 통해 병사의 육체적·정신적 상태를 실시간 평가하고 관련 내용은 기록되고 분석되어 지휘관이 각 부대와 개인에게 최적화된 임무부여 및 의학·심리적 처지에 활용할 예정이었다.

방호 분야는 방호(**Protection**), 보안(**Signature Management**), 건강관리 (**Physiological/Medical Management**), 동력원 관리(**System Power Support**)를 포함한 다기능 네트워크로 구상하고 있다. 이러한 방호 능력은 전술적 기동과 외골격 구조 연결부위를 충분히 고려해서 만들어 질 예정이었다. 병사들의 생존성과 방호부분은 각종 화생방 환경으로부터 보호와 다양한 기후로부터 생체

리듬을 안정화 시키고 전쟁의 정신적 상처로부터 자연스럽게 보호해 줄 수 있는 병사 피복체계(Soldier Ensemble), 적의 탄환이나 파편으로부터 보호해 줄 수 있는 방탄체계(Ballistic and Blast Protection), 폭발물의 화염과 엄청난 열 피해로부터 능동적으로 보호해 줄 수 있는 화염 방호체계(Reactive Flame Protection), 다양한 마이크로 센서들을 통해 생리상태·정신적 상태를 탐지 분석하고 병사의 업무하중, 체력 수준, 수분섭취량, 스트레스 수준들을 분석해서 뇌 깊이 숨어있는 정신적 상처를 치료해 주는 신경·정신적 상처 탐지체계(Psychological, Neurophysiological, and Wound Sensing), 마이크로 음파 센서들을 탑재하고 화생방 독극물을 탐지하며 전투복 나노 화합물의 저항력을 변경시켜 보호하고 효소와 대응 나노물질에 의해 자체 세척이 가능한 화생방 독극물방호 및 자체 세척 능력(Chemical/ Biological/ Radiological/ Toxic industrial material protection with self-decontamination capabilities), 상처부위를 스스로 세척하고 봉합하거나 MEMS 장치를 이용한 재생 패키지를 통해 다양한 위협으로부터 보호할 수 있는 상처/출혈 관리 체계(Wound/ Bleeding Management), 경량·저전력 소모를 통해 다양한 기상에 적응 할 수 있는 외부 환경 적응 체계(Multi-Environment microclimate conditioning) 등을 포함하고 있다.

미래 병사의 무기체계는 직사 및 곡사화기를 모두 포함해서 현재보다 상당히 먼 유효사거리(직사 600m, 곡사 1Km)를 보유하고 차폐물에 숨어있는 적도 효과적으로 제압할 수 있을 것이다. 사격통제는 병사들이 사용하기 쉽도록 작게 제작되고 전자광학기술을 통해 조준점은 헬멧 전시기에 표시된다. 특히 도시지역, 숲, 사막, 시골 등 다양한 장소에서 표적에 꼬리표를 붙일 수 있는 전자기술이 도입되어 현재보다 많은 표적을 관찰할 수 있을 있을 예정이다. 또한 모든 병사는 디지털 전장상황에 연결되어 작전 수행 능력이 향상되고 하차 승무원들은 전방관측 능력이 강화되어 포병 및 항공, 해상 화력 요구가 자연스럽게 가능해 진다. 표적은 육안관측과 헬멧에 장착된 센서를 통해 획득된다. 무기 체계가 지향하는 직·간접 화력 조준지점은 헬멧 전시기에 표시되고 개인화기 탄약은 5m<sup>2</sup>의 표적 제압이 가능해지도록 강화된다. 소총탄은 탄피 없는 탄이 일반화되어 전투하중과 부피를 대폭 감소하고 나노물질을 이용한 초경량 소총

은 인체공학적 설계를 극대화하고 반동은 최소화 될 것이다. 특히 공중폭발탄 약은 전장상황에 따라 탄약의 파괴력을 조절할 수 있도록 만들어 필요시 비살상 무기로 사용될 수 있도록 한다.

기동성과 전투지속능력(Mobility and Logistics)은 주로 병사의 외골격시스템을 통해 현실화 될 예정이다. 이 분야에서 집중하는 것은 병사들의 근력과 지구력을 폭발적으로 증가시키고 작전임무에 따라 새롭게 장착할 수 있는 기능성 모듈을 통해 적의 장벽은 쉽게 극복하고 필요시 쉽게 암호진지를 구축하는 등 작전환경에 빠르게 적응 할 수 있을 것이며 개별 맞춤형 형태의 외골격 시스템을 통해 완벽한 방호와 치명성이 부여될 예정이었다. 외골격 시스템은 주로 하지근력강화 부품(Lower Body Unit), 동력을 형성하는 임무강화골조(Mission Enhanced Chassis), 강화된 개인화기 및 분대 화기, 필요에 따라 상체 장갑체계에 탑재하여 적이 사용하는 에너지를 반사하거나 흡수하는 탄도탄 방어 및 펄스 에너지 보호체계(Ballistic & Pulsed Energy Protection), 경우에 따라 민첩성을 포기하는 대신 중량물을 이동하고 자르고 용접하는 등 여러 가지 기능을 탑재한 도구들을 사용 할 수 있는 모듈을 탑재해 진지건설 이나 도시지역 구조 및 탐색작전에 사용될 수 있을 것이다. 군수지원 시스템은 적시 적량의 군수물자를 지원할 수 있도록 군수지원 체계가 지휘통제 체계와 연동하여 사용자의 데이터 입력을 최소화 하고 군수지원 능력 가시화가 강화되어 조기에 효과적으로 군수지원이 가능해 지도록 할 것이다.

전장에서 전술 지휘·통제·통신(C3)이 절실히 필요한 이유는 크게 두 가지로 설명할 수 있다. 첫 번째는 미래병사체계에 치명성을 증가하고 진화하는 전장 환경에 신뢰할 수 있는 네트워크 환경을 보장하기 위함이다. 두 번째는 미래 병사체계가 전장에서 정보우위를 달성하고 상급부대 전술 인터넷과 전장 상황 인식 능력을 강화하는 것이다. 미래 네트워크는 외부의 상황변화를 인지하거나 예측하고 이에 따라 네트워크를 능동적으로 변경하는 인지적 적응 네트워크가 도입될 것이다. 외부의 상황에는 데이터 통신량의 변화와 임무에 기초한 전사 개개인에 최적화된 통신 중요성을 모두 고려한 개념이다. 특히 네트워크 계획 소요가 급격히 줄어들고 전투원이 전투에 집중할 수 있는 환경을 만들어줄 수

있다. 전투원이 전장에서 네트워크에 접속하고 각종 전술상황에 부합한 활동을 위해 전투원의 음성을 통해 제어되는 시스템(Voice Recognition and Speech Synthesis)도 포함된다. 또한 군용 통신만을 고집하지 않고 상용통신을 언제든지 사용할 수 있다는 가능성을 열어두고 비용감소와 작전 반응능력을 강화하는 것을 포함하고 있다. 미래병사들의 외골격 시스템에 있는 나노안테나 배열구조, RF 나노 스위치 등 초경량 통신 장비를 구현하고 전자기 중심의 통신에서 광자기반 안테나 시스템을 추가로 도입해 통신환경의 혁신적으로 확대할 것으로 예상된다.

병사의 센서 체계는 크게 헬멧에 부착하는 시스템과 전장 로봇체계로 구분되어진다. 우선 어떤 전투상황일지라도 모든 방향 전시가 가능한 전시기가 운용되고 병사의 뇌 활동을 탐지하는 센서를 부착해 인간 활동능력을 향상시키고 훈련성과를 높일 수 있도록 설계된다. 다양한 모드와 주파수 통신을 통해 전장 상황 데이터나 지휘통신 정보를 송수신하고 탄도 위협뿐만 아니라 생화학 위협까지 보호하게 된다. 특히 고성능 투명 얼굴덮개(Visor)는 나노물질과 나노기술로 개발되어 고성능 나노튜브 배열이 고해상도 이미지와 열 영상을 전달, 과도한 에너지 방출을 방지하고 외부로부터 전달되는 각종 에너지를 흡수하여 효율적인 에너지 관리가 가능해 지도록 한다. 또한 추가적인 장치 지원 없이 LADAR와 레이더 센서 합성을 통해 가시광선, 열 영상, 음파, NBC 탐지가 가능해진다. 다채널, 다중 모드 라디오 주파수 통신을 통해 다양한 마이크로 기기들을 원격작동하고 각종 마이크로 센서와 지상 로봇 장비(마이크로 UAV, 생화학 탐지)들 뿐만 아니라 대형 UAV와 위성통신까지 가능해질 것이다. 생체 안면인식 능력이 동반된 헬멧 시스템은 처음 보는 사람도 인식하고 네비게이션 뿐만 아니라 표적 위치추적 및 식별, 장비 성능 및 야간 광선 증폭, 전투원 식별, 움직임 탐지, 저격수 탐지, 통역기능 등이 가능해 질 예정이다. 또한 각종 장비를 소형화 시키고 경량화 시킬 수 있는 혁신적인 미래 기술의 진보 덕분에 초소형 무인 플랫폼이 직접적인 작전활동과 ISR, 통신 중계, 전자기전, NBC 탐지, 전투피해평가, 고가치 표적 정밀타격 등이 가능해 질 것이다.

미래 전투현장은 계속 진화해가고 있다. 또한 더 복잡해지고 비전통적인 적

대 세력들이 나타나게 될 것으로 예상되고 있다. 그래서 모든 병사들은 다양한 작전환경에서 공중, 지상 및 해상을 포함한 자율 무인시스템이나 지상 센서를 운용을 통해 전투능력을 크게 향상시킬 것이다.

미래 병사 구상에서 가장 중요한 부분은 에너지 분야이다. 모든 시스템을 가동시킬 에너지원은 몸에 부착된 하이브리드 장치와 재충전이 가능한 배터리로 구성되도록 했다. 전장의 어떤 종류의 유체 연료일지라도 전력장치를 통해 전기에너지로 환원시키고 고효율의 나노 섬유 구조의 납작한 충전 배터리 패치를 30그램 미만의 무게로 핵심 구성품에 부착시켜 3시간 이상 작동하도록 구상하고 있다.

지금까지 알아본 미국의 미래병사구상은 앞서 언급한 것처럼 전장의 현실과 어떻게 싸울 것인가를 고민하지 않고 단지 미래 병사들에게 최상의 무기체계를 제공하겠다는 목표 하에 작성된 것이다. 그러나 현실적으로 구현 가능한 기술력을 충분히 고려했고 충분한 예산상 뒷받침이 있을 경우에 당설 가능할 것이라는 것이 전문가들의 전반적인 의견이다. 그러나 미래병사구상은 안타깝게도 예산상 문제로 취소됐고 그 진행이 불투명 하지만 현재의 과학기술 수준과 미래 가능성을 염두에 둔 판단으로 앞으로 우리나라 무기체계 개발에 참고할 만한 부분이 많다고 볼 수 있다.

## 나. 일본

일본의 육상 자위대 (Japan Ground Self-Defense Force)는 **Future Advanced Soldier Combat System**이라는 차기 개인전투체계를 개발진행중에 있다. [그림 3-3]에서 보는 바와 같이 이 시스템은 모든 장비를 경량화 하여 통합형으로 설계한 것이 특징이다. 미국의 미래병사구상 2030과는 차원이 확연히 다른 수준의 모델이지만 전장정보를 공유할 수 있도록 웨어러블 시스템을 적용한 것이 특징이라고 볼 수 있다. 세부적으로는 저비용 전력화, 전자정보공유, 방탄, 저조도 증폭장치, IR 영상, C4ISR을 통한 전장 정보수집능력, GPS를 이용한 자기위치 식별, 신체정보, 개별영상, 표적위치 및 영상 등이 시스템에 포함되어있다. 일본 육상 자위대의 경우도 헬멧에 정보를 전시해 줄 수 있는 전시기를 이용해

서 작전상 활용하는 모습은 미국의 경우와 같다고 볼 수 있다.



[그림 3-3] 일본 육상 자위대의 개인전투체계

#### 다. 프랑스

FELIN<sup>21)</sup>이라는 명칭으로 프랑스의 개인전투체계는 1996년 시험사업으로 시작되어 2007년 최초 전력화되기 시작해서 현재 FELIN 사업은 완료되었다. FELIN 체계는 개인병사체계(Individual System), 특수목적시스템(Specific System), 충전시스템(Collect4e system) 등 3개의 주요 시스템으로 이루어져 있다. 개인병사체계의 경우 6개의 주요 하부시스템으로 구성되어 있다. 우선 전투복과 방탄조끼는 이동이 자유로울 수 있도록 제단 되었다. 가슴 주머니는 약품을 보관할 수 있고 통기성을 고려한 옷감으로 만들었다. 특히 옷감은 불연성 재질로 불에 타지 않으며 물에 젖지 않는 소재를 선택했다. 방탄조끼는 탄도탄으로부터 보호뿐만 아니라 컴퓨터를 포함해 GPS와 무전기 등 전자장치를 포함하고 있으며 상호 운용성을 강화했다. 주변장치의 경우 스위스에서 공급하는 두 개의 리튬이온 배터리를 이용하여 전원을 공급한다. 또한 수통과 탄창, 유탄 등을 적절히 분배하고 있다. FAMAS라고 불리는 5.56mm 기본 소총과 FRF2라고 불리는 7.62mm 저격용 소총에 야간 망원경을 부착하여 운용하고 있다. 헬멧은 방탄, 통신, 전자광학 구성품으로 이루어져 있다. 경량 통합 방탄재질로 만들어진 헬

21) French Infantryman Equipment and Communication

땀은 비, 바람, 먼지, UV로부터 병사를 보호하고 귀마개로 병사들의 청력을 소음으로부터 보호하고 NBC 마스크를 통해 화생방 위협으로부터 보호한다. 통신 장비는 헬멧과 독립적으로 운용이 가능하도록 했으며 무전기와 연결되어 있고 소형 마이크와 골 진동 이어폰을 채택했다. 광학장비는 소형 카메라와 OLED 전시기를 이용하여 전송된 각종 데이터뿐만 아니라 이미지와 동영상을 전시할 수 있게 했다. 전시기는 헬멧에 고정되어 병사의 눈높이에 이미지가 형성되도록 했고 사용하지 않을 때는 제거할 수 있도록 했다.

FELIN에 사용되는 각각의 라디오는 두 개의 네트워크에 동시에 접속해서 보병분대가 정보를 서로 공유될 수 있도록 한다. 이를 통해 분대지휘의 융통성을 확보하고 데이터와 음성 전송이 용이해지도록 했다. FELIN의 무전기는 FELIN 컴퓨터에 의해 식별되도록 해서 병사들이 조작해야 하는 버튼의 수를 최소화 했다.

## 라. 소결론

군사선진국의 개인전투체계는 전장의 각종 위협으로부터 병사를 보호할 수 있는 방호기능을 강화하고 전투용 헬멧의 기능을 대폭 증강시켜 전장인식능력을 혁신적으로 향상시켰다. 일본과 프랑스의 경우에 전시기를 통한 전장인식 기능을 강화했고 프랑스는 심지어 병사들의 손동작 까지 줄일 수 있도록 조작에 필요한 버튼수를 최소화 하는 등 심혈을 기울인 흔적들이 식별되고 있다. 미국의 경우 향상된 컴퓨터 성능을 통해 음성으로 전시기 기능을 통제하고 다기능 네트워크 체계를 통해 전장상황을 공유할 것으로 예상된다. 추가적으로 방탄 목적 헬멧은 초경량 물질로 만들어 활동성을 강화하고 더불어 머리부위 방호능력도 향상시킨 특징이 있다. 화기 면에서 조준경을 이용한 정밀 사격 능력은 대체로 향상됐다고 볼 수 있으나 개인전투체계의 화력이 현격히 발달 했다고 보기엔 어려움이 많다. 미국의 미래병사구상 2030의 경우를 참고해 봤을 때 앞으로 선진국의 병사체계는 기본적으로 일체형 피복을 통해 화생방 위협으로부터 보호와 전장에서 필요한 방호 성능까지 제공해 줄 것으로 예상되어진다.

#### 4. 미래 개인전투체계 운용개념에 따른 임무

한반도에서 활동할 미래 병사는 전면전과 국지전에 대한 전통적 임무수행과 더불어 재해재난 극복 및 초국가적·비군사적 위협에 대한 대비, 국가의 국력에 부응하는 국제적 수준의 평화작전에도 기여해야 되는 소요도 점차 증가되고 있다. 그런데 미래 개인전투체계를 구상함에 있어 가장 중요한 것은 다름 아닌 어떻게 싸울 것인가에 대한 고찰이다. 미래학자 엘빈 토플러는 그의 저서 「전쟁과 반전쟁」에서 혁신이란 새로운 문명이 과거의 문명에 도전할 때 혁신이 발생한다고 했다. 이런 차원에서 바라보면 군사혁신이란 다름 아닌 새로운 전쟁수행 방법으로 현재의 전쟁수행 방법에 도전할 수 있을 때 군사혁신이 발생하고 압도할 수 있다면 군사혁신에 성공했다고 할 수 있다.

육군은 평시 적의 위협을 억제하고, 적이 도발시 최소의 희생으로 최단기간에 승리를 달성한다는 목표로 전력을 발전시켜 나가고 있다. 위협의 대상은 북한을 염두에 두고 있지만 북한이 아닌 경우도 포함하고 있다. 평시 작전의 경우 북한의 도발 억제가 최우선 과제인데 이를 위해 장거리 정밀 타격능력을 확보하고 적의 전략적 표적을 원하는 시간과 장소에서 타격할 수 있도록 하여 적 핵무기를 포함한 대량살상 무기에 대한 억제를 달성하려고 한다. 지상전의 경우 신속하고 결정적인 기동을 통하여 압도적 우위의 전력으로 전장을 지배하고 적의 중심을 마비시켜 정권을 붕괴시킨다는 개념을 운용하고 있다. 그리고 평상시 적이 도발할 경우 언제든지 적 정권이 붕괴될 수 있다는 사실을 적에게 인지시켜 억제의 효과를 발휘하려고 한다.

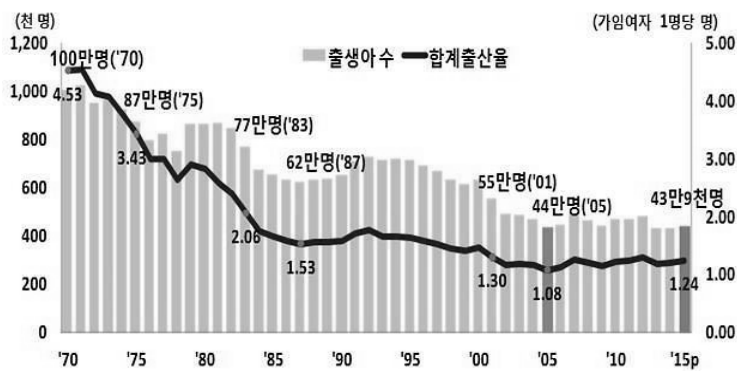
억제에 실패한 경우, 과거 '기동과 살상'이라는 기본개념을 뛰어넘어 향후 전장영역이 확대되고 국민의 여론과 국제적 지원을 고려하여 '마비·비살상' 개념의 작전을 수행하여 최소의 희생과 최단시간 승리 달성을 한다는 효과기반 작전 및 신속결정전을 근간으로 하고 있다.

북한이 수행하려는 전쟁은 비대칭 전력을 기반으로 평시 핵무기 등 대량살상무기를 이용하여 전략적 위협을 하고 이를 통하여 국제적 이목을 집중하고 필요한 지원을 끌어내며 철저한 재래식 전쟁을 준비하여 한반도 남침을 위한

만반의 준비를 실시하는 것으로 판단된다. 이에 대응할 수 있고 선택할 수 있는 방안으로 스마트 전쟁이 고려될 수 있다.

스마트 전쟁은 최근 강조되고 있는 인명중시 사상과 기술적으로 무기체계의 정확성과 파괴력이 증가하고 있는 상호 배타적 성격을 고려하고 대중매체와 통신기술의 발달에 의한 전쟁 상황이 전쟁을 통한 정치적 목적 달성에 중요한 역할을 수행함에 따라 인명피해를 최소화 할 수 있는 전쟁을 의미한다. 특히 육군의 장병들에게 절실한 방호력과 전투효율성 향상을 통하여 적 직사화기에 대한 방호능력과 화생방 방호능력을 획기적으로 개선한 생존성을 보장해야한다. 이는 과거 장비·물자에 사람을 맞춘다는 개념에서 벗어나 사람 개개인에 장비와 물자가 최적화 되어 장병의 전투능력을 발휘한다는 개념으로 수정되어야 한다. 이를 통하여 과거 선진국 모방형 무기체계 전력화가 아니라 한국 상황에 적합한 미래전을 대비할 수 있는 신개념 무기체계를 개발하여 기술적 기습을 달성하고 압도적 우위를 달성할 수 있는 전력개발이 절실하다.

앞으로 우리에게 닥쳐올 미래는 정확하게 예측할 수 없지만 어렵פות이 느낄 수는 있다. 최근 주한 미군에 대한 국민적 감정은 항상 우호적이지 않다는 사실과 미국에서도 한반도 방위비 분담이 불공정 하다는 미국 내 여론을 고려했을 때 앞으로 한반도 미래전장은 미 지상군 증원 제한상황이 확실시 되고 있다. 이를 대비하여 우리 지상군은 전장을 스스로의 능력으로 지배할 수 있는 능력이 절실하다.



[그림 3-4] 연도별 출생률(통계청)

현재 대부분의 입영자원들은 1995년 출생자들이다. 20년 후 2015년 출생 입영장병의 수는 현재 장병의 2/3 수준에 불과하다.

최근 출생률 감소에 따라 인구밀도 및 전투원 감소현상은 피할 수 없는 현실이다. [그림 3-4]에서 보는 바와 같이 통계청 자료에 따르면 베이비부머 세대<sup>22)</sup>이후 우리나라의 출생률은 꾸준히 감소하고 있다. 현재 야전에서 전투원으로 복무하고 있는 인원들은 1995년에 출생한 병력들이 중심인데 앞으로 한국사회의 의무복무 인원은 출생률 자료에서 보는 바와 같이 급격히 줄어들어 20년 후 2015년 출생자들이 복무하게 되는 시대에는 현재 병력의 2/3수준이 될 예정이다. 출산율 감소는 1자녀 가구를 증가시켰고 이에 따라 군에 복무하는 병력들에 대한 사회적 관심이 고조되는 것은 당연한 것이라고 볼 수 있다. 시대적으로 인명을 중시하는 사조와 맞물려 우리 병사들은 우리 군에서 가장 소중한 존재가 되었다. 그래서 이들을 대신해 전장의 위험을 감수할 시스템이 필요해졌으며 최근 무인 전투체계의 등장은 이와 때를 같이하며 앞으로 우리 군의 미래 모습으로 예상되어지고 있다. 그러나 무인 무기체계는 흔히 군사용 로봇으로 묘사된 곤 하는데 현 기술단계에서 바라본 로봇은 지적 수준이 바퀴벌레보다 못하고 최근 급격히 성장한 자율주행 기술을 제외하면 그다지 눈에 띄는 성과는 없다. 심지어 자율주행 분야일지라도 정해진 도로이외에는 다른 곳은 아직 극복하기 어려운 실정이다. 그래서 현재 사용되는 로봇이 인간의 지능을 따라잡기엔 아직 역부족이라고 판단한다. 그러나 알파고<sup>23)</sup>와 같은 인공지능(AI)의 등장으로 로봇의 지능이 한 차원 성장할 것이라는 장밋빛 예측을 조심히 해보고 있으나 아직은 요원한 상태이다.

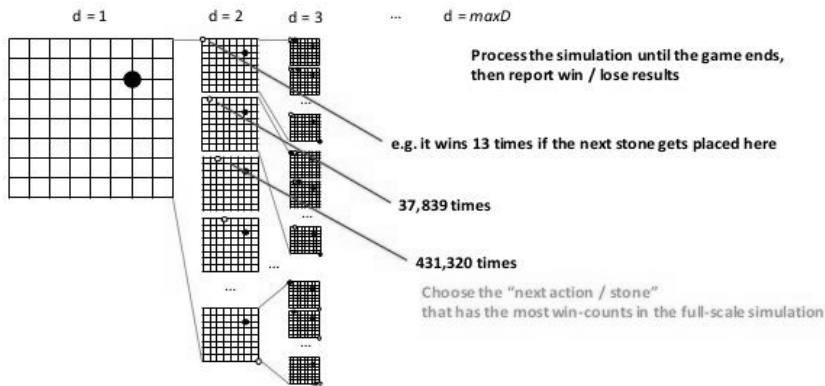
그렇지만 출생률 감소에 의해 부족해진 전투력을 보완할 수 있는 새로운 전투수행 방법과 무기체계가 절실하다. 지금까지 등장한 무인 무기체계 만으로는 부족해진 전투원을 대체하기에 턱없이 부족하다. 이미 전력화된 군단급 UAV 만해도 정찰인력이 줄어든 것이 아니라 수십 명의 새로운 운용인력을 필요로 하고 있다. 그래서 앞으로 등장할 무기체계는 인력소요를 감소 할 수 있는 효과가 뚜렷해야 한다. 무인무기체계 운용에 인간이 자꾸 투입되는 이유는 무인 무기체계가 인간만큼 똑똑하지 않기 때문이다. 게다가 무인무기체계는 운

22) 한국전쟁이후 1955년~1963년 출생한 세대

23) AlphaGo : 2015년 인공지능 바둑 프로그램

리적 문제에 대하여 전혀 해결책을 찾을 수 없다. 인간이 가장 효율적으로 무인무기체계를 운용하기 위해 인간과 무인무기체계간의 장단점을 간단히 비교해보면 다음 표와 같다. 인간이 로봇에 비해 많은 것이 월등하지만 아직도 로봇만이 가진 장점은 인간의 능력으로 대체할 수 없다. 로봇과 인간은 서로 다른 장점을 가지고 있으며 때로는 보완적이다.

## Computer Go AI – An Implementation Idea?



[그림 3-5] 알파고의 기본적인 인공지능 논리

이런 유사한 경제상황에 대해 고전경제학자 데이비드 리카도<sup>24)</sup>는 「비교우위법칙」을 주장했다. 「비교우위법칙」은 한쪽의 재화가 다른 쪽의 재화보다 절대적으로 우세하지 않더라도 비교우위에 있는 재화를 교환하여 서로 이익을 창출할 수 있다는 이론이다. 로봇과 인간이 가지는 서로 다른 비교우위에 대한 최적화된 상호 공존 방법은 비교우위교환이 될 것이다. 나약한 인간의 육체를 대신할 로봇의 사용이야말로 로봇이 등장한 가장 큰 이유임에 틀림없다.

이를 종합해보면 앞으로 벌어질 한반도 전쟁은 적어도 대한민국 육군의 입장에서 미군 지상군 증원이 어려워진 상황에서 전투원으로 참가한 병사 개개인의 생명을 매우 중요하게 여기고 국내 저 출생률에 문제에 따라 기존 인력중심 전력구조에서 무인화 된 첨단 무기체계를 운용하는 인간중심 전쟁이 될 것이다. 그러나 주적인 북한의 도발양상을 고려할 때 그들의 도발에 효율적인 대안

24) David Ricardo (1772 ~1823), 영국의 경제학자, 고전 경제학 이론체계 완성

으로 작전을 구상할 가능성이 높다.

그래서 한반도에서 활동할 미래 병사는 전면전과 국지전에서 인명을 중시하는 사회적 분위기와 명분에 의한 분쟁수행을 할 수 있도록 살상 및 비살상 무기체계를 이용하여 전통적 임무를 수행할 것이다. 더불어 재해재난 극복 및 초국가적·비군사적 위협에 대해 폭도진압 및 인질구출, 위협저지, 분쟁저지와 마약 및 테러와의 전쟁뿐만 아니라 전후사회 안정화에 필요한 국제적 수준의 평화작전에도 기여해야 된다.

〈표 3-1〉 전투원과 무인무기체계 장단점 비교

	전투원	무인무기체계
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 판단력이 뛰어나다</li> <li>• 윤리적이다</li> <li>• 책임 소재가 명확하다</li> <li>• 학습능력이 뛰어나다</li> <li>• 창의적 능력이 있다</li> <li>• 스스로 문제 해결하는 능력이 있다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계산능력이 뛰어나다</li> <li>• 최적화된 기계학습이 가능하다</li> <li>• 감정에 휘둘리지 않는다</li> <li>• 전투에 필요한 센서는 인간의 것보다 수배 강력하다</li> <li>• 충성심이 강하다</li> <li>• 재충전이 가능하며 지치지 않는다</li> <li>• 일에 경중을 따지지 않는다</li> <li>• 고장나면 고쳐 쓴다</li> <li>• 프로그램은 언제나 업데이트가 가능하다</li> <li>• 동일한 프로그램을 이식하기 쉽다</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 쉽게 지친다</li> <li>• 근력, 시력, 청력 등 전투에 필요한 감각이 제한적이다</li> <li>• 보조수단 없이 계산능력이 떨어진다</li> <li>• 쉽게 지루해한다</li> <li>• 감정에 휘둘린다</li> <li>• 더러운 일을 싫어한다</li> <li>• 용기에 한계가 있다</li> <li>• 생명유지를 위해 특별한 조건을 만족해야 한다.</li> <li>• 죽으면 재생이 불가능하다</li> <li>• 재프로그램 될 수 없다</li> <li>• 기능발휘를 위해 충분한 휴식이 필요하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스스로 문제해결을 못 한다</li> <li>• 아직 낮은 수준의 지능이다</li> <li>• 언제나 오작동이 가능하다</li> <li>• 감정이 없다</li> <li>• 인간사회 윤리를 모른다</li> </ul>

## 5. 미래 개인전투체계 소요 요구 성능

작전의 형태가 어떠하든 현재 소부대 지휘관(자) 및 참모와 전투원은 각종 전투행동과 전술적 조치(감시·정찰, 보고, 지휘 및 결심, 타격 및 화력요청)를 수행해야 한다는 점에서 활동하는 모습이 대부분 비슷하다. 그러나 적이 명확하고 식별할 수 있는 전쟁만 준비한 상태에서 앞으로 적이 명확하지 않고 피·아·민간인이 혼재된 상황을 함께 고려하여 부여된 임무를 대비해야 한다. 기본적으로 각개 병사는 장갑 차량에 탑승한 전투와 하차한 전투로 구분하게 된다. 장갑 차량에 탑승한 전투원은 차량단위 전투를 실시하고 적의 탄도위협으로 보호를 받으며 적진으로 침투한다. 이후 하차한 전투원은 개인 화기에 장착된 첨단 관측 장비를 통하여 기상과 조명상태에 상관없이 전천후 적을 탐지하고 디지털 지휘통제 네트워크로 상급부대에 보고함은 물론 상급부대의 작전적·전술적 상황을 수신하여 헬멧에 부착된 HMD를 통해 작전지역내 피아상황을 파악한다. 식별된 적은 복합화기와 공중폭발탄을 이용하여 직접 제압하거나 자동화된 표적정보 식별장치와 전송장치를 통해 상급부대 화력을 요청하여 기습·정밀 타격이 가능해지며 최소의 노력으로 최대의 전투효과를 기대할 수 있게 된다.

전투원의 생존성은 원격 감시 장비와 첨단 방탄헬멧 및 방탄 위장복, 보호의, 생체 모니터링 시스템을 통하여 생존성이 크게 향상되고 GPS, 디지털 나침반, 피·아식별기 등으로 전투 방향유지 및 우군간 사격을 방지할 수 있게 된다.

전투원과 비전투원의 구분이 모호해지고 혼란스러운 상황에서 비살상 및 무력화 기술을 통하여 인명 손실과 부수적인 손상 방지를 피할 수 있도록 해야 한다. 전쟁의 궁극적 목적이 적 인원을 죽이고 적의 무기와 시설과 장비를 파괴하는 행동이라고 흔히 알고 있지만 전쟁은 또 다른 수단에 의한 외교의 연장이며 물리적 파괴 없이 자신의 의지를 적에게 강요하는 것이 전쟁의 타당한 목적임을 고려했을 때 전쟁이란 물리적 파괴만이 전부가 아니며 나의 의지를 상대에게 강요하는 물리적 수단임을 고려해야 한다. 비살상 무기 및 무력화 기술은 광의의 전쟁의 궁극적 목적인 부전승 사상이라고 할 수 있다. 비살상 무기는 일시적으로 적을 무력화시키는 기술에서부터 군사 장비를 못 쓰게 만들어

전쟁수행 그 자체를 불가능하게 만드는 무기까지 포함한다. 예로 건물을 투과하는 초저주파 음파를 통하여 테러리스트를 제압하고 연소방지 물질을 통하여 자동차의 내연기관처럼 산소를 필요호하는 모든 엔진의 기능을 정지시키거나 섬광탄으로 적외선을 사용하는 적 장비를 무력화시키는 것 등을 생각할 수 있다. **Soft-Kill**이라고 부르는 이러한 무기체계는 최소한의 살상으로 최대의 효과를 볼 수 있는 환경을 제공하고 컴퓨터가 무기의 가치관을 바꿀 수 있는 새로운 군사혁신의 이끌 것이다.

## IV. 생체기능 증폭과 사회적 파급효과

### 1. 인간 생체기능 증폭과 기술적 가능성

한반도 전쟁에 군사 혁신을 불러올 수 있는 기술로서 무인무기체계, 빅 데이터 분석과 인공지능, 사이버 능력 등은 현재까지 대표적으로 소개된 잘 알려진 기술들이다. 그러나 전 세계 대학과 연구소에서 실시되고 있는 과학기술의 발전을 좀 더 숙고한다면 우리의 미래는 더욱더 파격적으로 변화될 가능성이 있다. 이 장에서 인간의 제한된 생체기능을 새롭게 등장하려고 하는 출현 가능성 있는 과학기술과 접목하여 개인전투체계가 얼마나 더 발전될 수 있는지 제시하고자 한다.

개인전투체계를 시스템이라는 차원에서 접근해보면 헬멧과 각종 센서를 연결하고 전장의 정보를 공유하는 시스템이 가장먼저 발전해야할 분야로 판단된다. Michio Kaku의 「The Future of the Mind」를 통해본 인지과학의 현재와 미래의 가능성은 우리에게 의미하는 바가 크다. 현재 각 대학과 연구소에서는 MRI 분석을 통해 인간의 생각과 논리과정이 이루어지는 동안 인간의 뇌가 어떻게 반응하는지 생생한 녹화를 통해 인간의 뇌와 작동원리에 대한 분석이 이루어지고 있다. [그림 4-1]은 MRI로 촬영된 뇌 신경물질의 전달 경로인데 이러한 기술을 응용해 수없이 많은 뇌 신경조직이 특정 사고과정에서 어떻게 반응하는지 3차원 영상으로 분석하려는 시도들이 이어지고 있다. 그들이 말하는 뇌

의 원리는 우리가 알고 있는 컴퓨터의 작동원리와 크게 다르지 않다. 인간의 사고과정은 컴퓨터의 연산과정과 비슷하다고 Kaku박사는 설명한다. 향후 이러한 분석을 통해 인간의 뇌가 작동하는 것은 흉내 내거나 뇌신경 관련 의학이 발달해서 정신적 고통과 트라우마로 부터 고통 받고 있는 많은 사람들을 치료하거나 적어도 고통을 완화하는데 도움이 될 것이라고 기대하고 있다. 이는 향후 전투현장에서 발생하는 극도의 공포와 불안감을 해소하는데 도움이 될 전망이다. 한편 일부 실험실에서는 인간의 머리에 뇌파를 측정하는 장치를 부착하고 인간의 생각과 감정에 따라 어떤 뇌파가 형성되는지 분석하기도 했다.



[그림 4-1] 3차원 뇌 신경구조 MRI 영상

전장의 병사들은 사격과 감시 장비 운용만으로도 손발이 바쁘다. 아무리 훌륭한 정보를 제공하는 시스템이라고 해도 무기를 휴대하는 병사들이 무기를 사용하기 위해 손가락을 사용하지 않고 정보 검색을 위해 손가락이 움직이기 시작하면 병사의 행동모습은 전장의 상황에 어울리지 않는 엉뚱한 모습이 되어버린다. 그래서 전장의 병사들은 손가락을 별도로 사용하지 않아도 전장에서 의사결정을 지원해주기 위해 존재하는 개인용 컴퓨터를 무난하게 사용할 수 있어야 한다. 전장의 정보를 별도의 동작 없이 검색할 수 있도록 하려면 원격 입력

시스템은 꼭 필요한 항목이 된다. 그 가능성을 시험하기 위해 자동차 사고로 팔다리를 사용하는 것이 어려운 사람들에게 실험적으로 뇌파를 이용해 컴퓨터의 마우스를 움직이고 필요한 정보를 찾아 인터넷을 서핑을 하는 노력이 시도되었다. [그림 4-2]에서 보는바와 같이 이미 신체 움직임이 불편한 환자도 [그림 4-3]에 있는 뇌파 송수신 헤드셋을 이용해서 뇌파를 송수신 할 수 있도록 훈련 받으면 컴퓨터의 마우스가 움직이는 것은 이미 실험을 통해 입증된 상태이다. 유명한 과학자 스티븐 호킹 박사[그림 4-4]는 이미 잘 알려진 것처럼 몸의 근육이 퇴행하는 루게릭병으로 고생하고 있다. 그는 기본적인 움직임조차 어렵지만 다행히 그의 안구와 눈썹, 눈 깜빡임은 매우 정상적이다. 인텔의 지원을 받아 그가 사용하는 의사소통 지원 장치는 스티븐 호킹 박사에 최적화되었고 많은 과학적 접근방법이 사용되고 있다. 뇌파를 이용하거나 안구의 움직임을 이용하는 방식으로 전장에서 헬멧 전시기를 조종할 수 있는 방법들이 속속 제시되면서 병사들이 양손은 화기를 운용하고 정보검색과 의사결정은 모두 두뇌와 안구의 운동만으로 될 수 있는 방법이 점차 가능해지고 있다.



[그림 4-2] 뇌파를 이용한 컴퓨터 운용



[그림 4-3] 뇌파를 송수신하는 헤드셋



[그림 4-4] 눈의 움직임으로 컴퓨터 조작. 눈 깜박임과 눈썹의 움직임으로 컴퓨터를 조작하는 스티븐 호킹 박사

알파고의 등장은 인공지능이 우리 곁에 매우 가까이 와있음을 의미한다. 미래 전장에서 각 개인전투원은 전장의 상황에 현명하게 대처해야 한다. 인간은 로봇에 비해 판단능력이 뛰어나고 창의적이라고 말할 수 있지만 탁월한 계산 능력을 통해 최적화 솔루션을 찾는 것은 인공지능이 훨씬 탁월하다고 볼 수 있다. [그림 4-5]은 미국의 DARPA가 제시한 증강현실 전투현장이다. 그들이 생

각하는 미래의 전투현장은 현실상황에 추가된 여러 전투정보들이 전시기에 증강되어 운용되고 있다. 이러한 정보엔 인공지능에 의해 제시되는 최적의 방책이 포함될 수 있을 것으로 예상된다.



[그림 4-5] 미국의 DARPA가 제시한 증강현실 전투현장. 피아표시와 함께 주변 병사의 무장상태와 건강상태까지 표시됨

미래의 병사들은 인공지능에 의해 구현된 최적화된 솔루션의 지원을 받아가며 전투행동을 결정할 것이다. 다양한 방책이 가능한 전투행동은 전투현장에서 행동으로 옮겨지기 전에 미리 가상 시뮬레이션을 결과를 판단할 수 있게 될 것으로 보인다. [그림 4-6]에서처럼 병사들은 가상현실을 이용한 개인훈련과 팀 훈련을 통해 최소의 희생과 노력으로 최대의 효과를 달성할 수 있는 교육훈련 및 전투 체계를 갖출 것으로 예상된다. 게다가 [그림 4-7]과 같이 증강현실(Augmented Reality)을 추가적으로 이용하여 전투현장에서 다른 전투원이 식별한 각종 정보를 공유하고 현장의 영상에 추가하여 지휘관을 포함해 필요한 전투원들에게 공유함으로써 각개 병사들의 위험성은 크게 줄어들고 협조된 작전의 효율은 극대화될 전망이다.



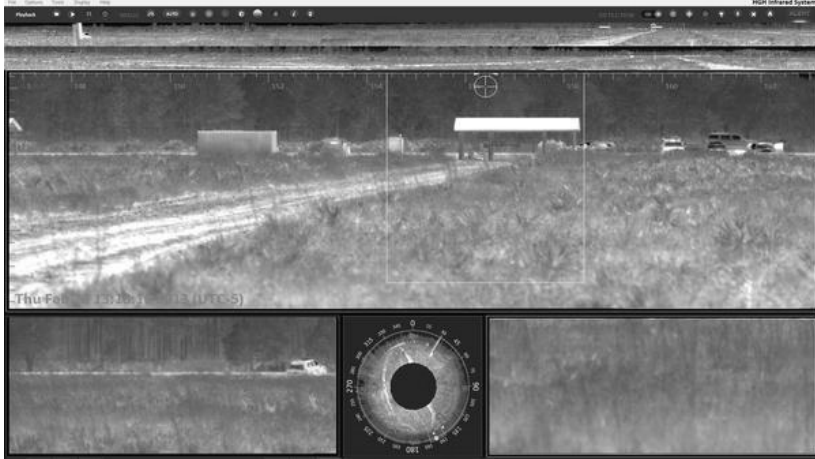
[그림 4-6] 미래 병사의 VR 훈련과 시뮬레이션



[그림 4-7] 증강현실 전투현장. 적군의 구분이 모호한 상황에서 식별한 적군에 대한 정보는 증강현실을 통해 공유하게 됨

적의 은밀한 움직임은 병사들이 언제나 경계해야하는 최선의 위험요소이다. 경계상태에 있는 병사들에게 적의 움직임을 인식할 수 있는 지원도구는 그래서 필수적이다. 특히 적진 깊숙한 곳에서 은거하고 은밀한 작전을 수행하는 특수전 요원들은 작전의 특성상 외부의 지원 없이 혼자 생존해야 하는 상황에 놓이게 된다. 미래 특수작전 병사들은 헬멧에 장착된 음향 및 적외선 감시 장치를 통해 잠시 휴식을 취하는 상황일지라도 24시간 깨어있는 경계시스템의 지원을 받을 수 있을 것이다. 이러한 경계시스템은 음향신호와 가시광선 및 적외선 신호등을 이용하여 각종 소리와 움직임의 발원지를 식별하고 [그림 4-8]과 같이

인간이 지닌 시야 폭보다 넓은 360도 광시야 관측과 경계가 가능해 질 것으로 예상된다.

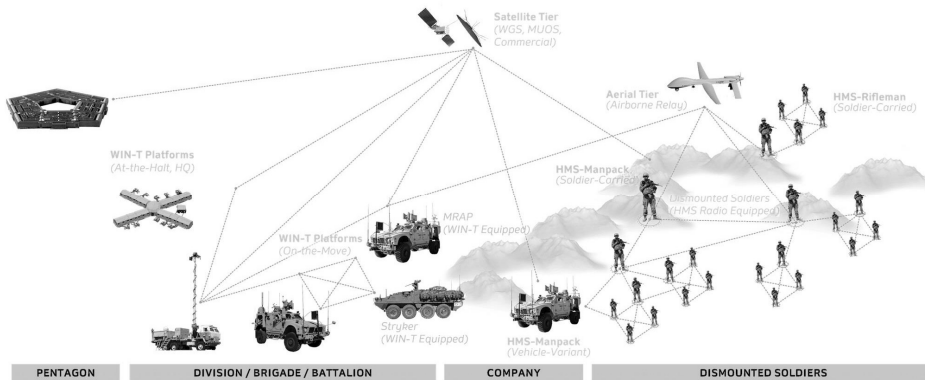


[그림 4-8] 전천후 감시체계. 24시간 360° 전투원의 주변경계를 제공한다.

전장의 병사들에게 필요한 전투정보는 병사들만을 위한 데이터 링크 [그림 4-9,10]를 통해 전파될 것이다. 현재까지 전장통신을 위해 사용할 수 있는 주파수는 제한적이기 때문에 무선장비를 무수히 증가시키는 데는 한계가 있는 것으로 판단하고 있다. 그러나 장거리 무선통신소요를 줄이고 가까운 거리에서 단말기간의 중계 통신을 이용한 **Ad-Hoc** 통신방식을 채택하면 전제 전장에 무선 신호가 무분별하게 퍼지는 일을 예방할 수 있을 것으로 예측된다. 앞으로 전장에 전파될 정보는 영상, 신호, 음향 정보 등 모든 소스로 부터 접수가 가능해질 것이다.



[그림 4-9] 송수신용 무전기. 음성통신 뿐만 아니라 데이터 통신을 가능케 할 것이다.



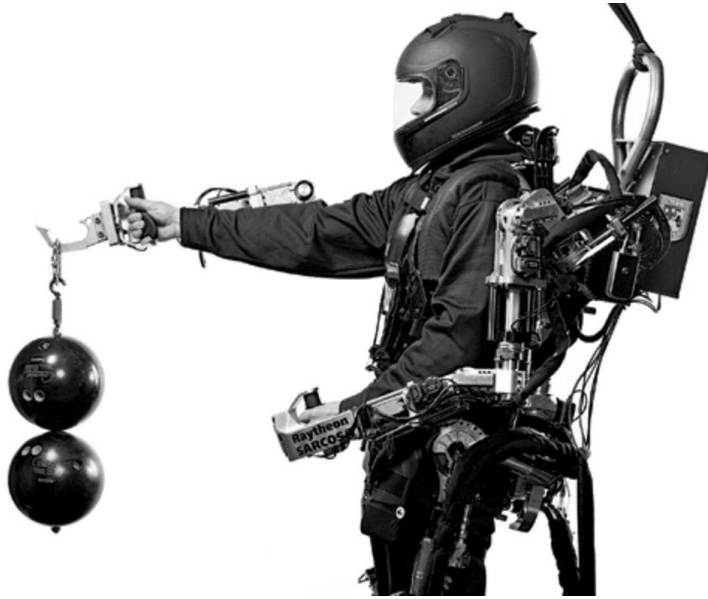
[그림 4-10] 개인전투체계 데이터 링크

병사들의 기동성능도 대폭 증대될 예정이다. 2014년 장애인 올림픽(2014 Paralympics)에서 Oscar Pistorius가 선보인 의족[그림 4-11]이 세상의 관심을 불러일으킨 적이 있었다. 이때 사용된 의족은 기존에 생각했던 불편한 의족의 개념이 아닌 일반인보다 훨씬 빠르게 달릴 수 있도록 개조된 단순하지만 에너지 사용을 극대화 시킨 매우 효율적인 의족이었다. 이후 이를 모방한 유사 장비들이 소개되었고 장애인이 아닌 일반인들도 이와 유사한 의족을 착용하고 보통사람이 생각할 수 없는 효율로 먼 거리를 엄청나게 빠르게 달릴 수 있게 되었다.



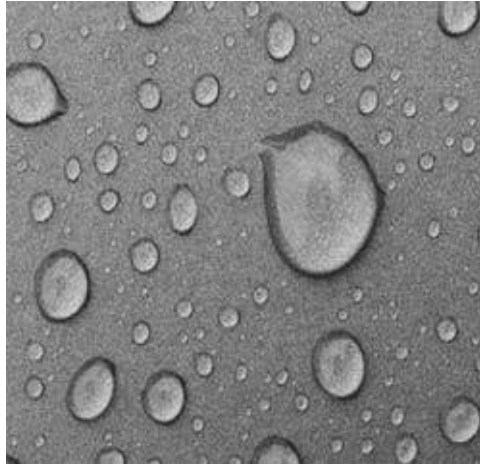
[그림 4-11] 2014 Paralympics에 사용된 Oscar Pistorius의 의족

이와 유사한 방법으로 병사들의 기동성능도 외골격 시스템 (**Exoskeleton System**)에 의해 급격히 증가할 가능성이 높다. 외골격 시스템의 장점 중에는 [그림 4-12]처럼 증폭된 근력도 있다. 기존에 인간이 감당할 수 있는 하중은 선천적으로 부여받은 인간의 근력에 의존할 수밖에 없었다. 그러나 외골격 시스템은 인간의 근력을 대폭 증가시켜 기존에 인간이 들어 올릴 수 없던 물건도 거뜬히 들어 올릴 수 있게 되었다. 외골격 시스템의 이러한 성능은 비단 전투 현장에만 효과적인 것은 아니다. 향후 미래의 병사들이 감당해야 하는 재해와 재난의 구호현장에서 인간의 힘으로 감당하기 어려운 무거운 장애물을 들어 올리고 소중한 인명을 구하는 데도 활용될 것으로 예상되어진다.



[그림 4-12] Exoskeleton 초기모델. 병사들의 외골격을 강화하기 위해 만든 시스템

인간의 피부의 기능 또한 증폭될 예정이다. 인간의 피부는 외부의 세균으로부터 신체를 보호하고 항온과 항습을 유지시켜주는 보호 장치이다. 그러나 피부는 전장의 대량살상무기에 의해 쉽게 오염되고 부작용을 일으키며 예리한 물체에 상처 나기 쉽다. 각 국가는 다양한 기능성 전투복을 개발해 전투원에게 부여하고 있으나 앞으로 피부의 역할을 할 전투복의 기능은 눈부시게 발전할 가능성이 크다. 일체형으로 개발되는 모습의 개인 전투복은 전투현장의 냉혹한 기후와 날씨를 견뎌낼 수 있도록 제작될 것이다. 기능성 피부는 피부와 밀착해서 인간의 피부가 일정한 온도와 습도를 유지할 수 있도록 도와준다. 나노 소자를 이용한 신개념 피복은 피복의 움직임으로 전력을 생산하고 저장하며 이를 효율적으로 활용할 전망이다. 또한 자체 정화기능을 포함해서 피복에 묻은 오염물질도 스스로 정화하고 세탁소요를 줄일 것으로 예상되어진다. 이미 개발된 일부 피복은 피복 물질의 말단 분자구조를 조작하여 피복에 물방울이 맺히지 않도록 하였다[그림 4-13]. 적들의 화생방 공격으로부터 피부와 호흡기를 보호하고 기존에 문제가 됐던 통기성과 열 피로를 줄여 미래 전장의 전투원에게 크게 기여할 것으로 보인다.



[그림 4-13] 방수기능이 강화된 피복

방탄성능 면에서도 기술적 진보가 이루어지고 있다. 기존의 무거운 방탄조끼와 헬멧은 기술력의 발달로 경량화 될 것이다. 아직 두꺼운 형태로 거동을 불편하게 하는 방탄조끼는 나소소자와 유체의 반응특성을 이용한 신 개념 소재를 통해 개선될 전망이다. 아직 액체 방탄조끼는 전투하중을 줄이는데 기여하지 못할 정도로 무거워 실용성을 판단하기 어려운 상황이지만 가슴뿐만 아니라 팔과 다리 등 신체의 주요부위를 보호 할 수 있는 일체형 방탄전투복의 개발은 그리 먼 이야기만도 아니다.

## 2. 인간 생체기능 증폭을 고려한 개인전투체계 개발과 사회적 효과

대한민국 육군은 혁신이 절실한 시점에 와있다. 과거 군사정권의 영향으로 군에서 제시하는 모든 것에 국민들은 의심의 눈초리를 보내고 있다. 군사문화라 불리는 집단주의나 서열주의 역시 육군이 극복해야하는 과제중 하나다. 얼마 전 병영 내 부조리에 의해 전방에서 복무하던 병사의 사망사건으로 인해 육군 문화가 다시 도마 위에 올랐고 병영문화 개선을 위한 특단의 조치를 취했으나 그 효과에 대해 궁금증을 보이는 국민이 적지 않다. 육군은 타군에 비해 가장 많은 병력을 운용하고 있기 때문에 국민들로부터 병영문화에 대해 가장 많

은 관심을 받게 되는 것은 어쩔 수 없는 현실이다. 과거 여러 전쟁 이론 중에서 육군이 군사선진국으로부터 받아들인 것은 베트남전에 사용했던 공지전(Air Land Battle), 이후 중동지역에서 이라크의 쿠웨이트 침공에 대항하며 미군이 보여줬던 네트워크 기반 환경(NCOE)을 적극 활용한 기동전(Maneuver Warfare) 및 신속결정전(Rapid Decisive Operation), 최근 아프가니스탄에서 보여준 효과기반 작전(Effect Based Operation) 게다가 독일에 대한 관심이 많아지면서 등장한 전격전과 임무형 지휘 등 선진국이 제시하는 많은 논리와 이론을 받아들이며 이를 구체적으로 실행 할 수 있는 무기와 체계 정립을 위해 부단히 노력해왔다. 그러나 가장 중요한 한반도 현실에 부합한 한반도 전쟁수행 이론에 대해 관심을 보이지 않은 것이 사실이다. 그래서 서구적 전쟁수행 방법을 많은 사람들이 선호하고 군사적 선제 교리라고 믿고 있다. 대한민국의 민주화 기간이 이제 짧지 않음에도 불구하고 아직도 병영문화가 과거 구태의연한 서열중심이라는 사실은 반성해볼 필요가 있다. 대한민국 육군은 이제 눈을 스스로에게 돌리고 대한민국 육군에게 가장 시급한 것이 무엇이고 가장 소중한 것이 무엇인지 식별할 필요가 있다. 최근 육군에서 편찬한 육군전략서 '16~'30에 의하면 육군은 병력을 가장 많이 운용하는 집단이고 전투원이 육군에 가장 소중한 존재임을 부각시키고 있다. 그간 첨단장비를 사용하는 첨단 정예군을 만들기 위해 외국에서 훌륭하다고 선전하는 무기체계는 마구 사들여 왔다. 실제로 어마어마한 금액이 투자되었다. 이와 경쟁이라도 하듯 국민의 복지에 대한 관심을 늘였고 복지정책에 힘입어 국방비는 병사들의 월급 등 복지와 맥을 같이하는 부분은 증액되었지만 방위력 개선분야에 대해 많은 사람들이 고개를 갸우뚱 하고 있다. 막연하게 안보는 중요하고 간과할 수 없기 때문에 예산이 집행될 뿐 공감하며 적극적으로 지원하지는 않고 있는 것으로 보인다.

대한민국 육군의 전투력은 사람으로부터 나왔다. 과거에도 그랬고 앞으로도 사람으로부터 나와야 한다. 그래야 육군이다. 인간을 중심으로 만들어진 가장 인간다운 조직으로 자리 잡을 수 있다. 그래서 이제부터라도 군에 종사하는 사람들을 위한 노력이 제대로 자리 잡혀야 한다. 단지 안보를 위해 희생하는 사람들을 달래기 위해 어설픈 복지를 향상하지 말고 정말 소중한 인간을 중심으

로 전쟁을 수행하고 단 한명의 전투원을 손실하는 것이 그 어떤 고성능 무기체계를 잃는 것보다 큰 손실이라는 사실을 군은 스스로 인식하고 국민들에게 인식시켜야 한다. 전쟁을 피할 수는 없지만 전쟁이 난다면 소중한 전투원은 죽지 않는 다는 것을 보여주어야 한다.

미래 개인전투체계 구상은 그래서 중요하다. 대한민국 육군의 정체성을 드러낼 수 있도록 개인전투체계는 설계되고 국민에게 홍보되어야 한다. 군이 전투원을 소중히 여기고 무기체계를 구상할 때 군 전투력도 상승하고 국민들의 성원도 커질 수 있도록 해야 한다. 또한 개인전투체계가 살상을 전제로 한 전쟁이 아닌 가장 인도적이고 평화를 추구하는 체계로 자리 잡도록 해야 한다.

대한민국 방위력 개선비는 [그림 1-14]에서 보는바와 같이 매년 늘어나고 있다. 특히 첨단 무기체계 도입을 위해 많은 방위력 개선비를 사용하고 있다. 그러나 우리나라에서 개발한 국산 방산장비 수출은 아직 요원하다. 수출통제에 걸려있는 기술을 많이 사용하기 있기 때문이다. 국민은 국방예산과 방위력 개선비를 낮추고 싶어 한다. 그러나 아직 군에서 사용하는 장비의 생산단가를 낮출 수 있는 방법을 찾지 못했다. 오직 수출을 통해 생산 물량을 늘리고 한 대당 생산단가를 떨어뜨려 국내 수요를 충족할 수 있는 물량에 대한 획득 비용을 줄이는 방법밖에 없다.

金 국방 “안보비 다른데 둘러선 안돼... 몇년내 戰力 손실” 전문가 “불요불급한 예산까지 무작정 책정... 삭감 자초”



정부, 軍복무 18개월로 단축도 비판 “여자도 2차대전 쫓겨런 군대 갈수도”

병력 10년후 3만여명 부족 부사관 증원에만 年7500억

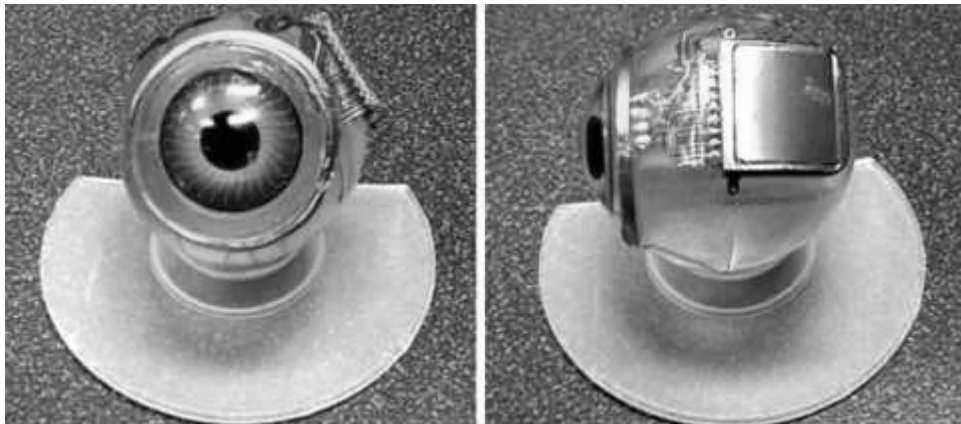
[그림 4-14] 연도별 방위력 개선비와 국방예산

국방과학 연구소를 중심으로 핵심기술을 개발하고 이를 민간에 **Spin-Off** 시켜 민군상생의 노력은 절실히 필요하다. 그런데 아쉽게도 아직 **Spin-On** 또는 **Spin-Off**를 통해 민군의 기술이 협력하는 모습은 쉽게 찾아보기 어렵다. 이유는 여러 가지 있지만 민군 기술이 공통적으로 필요로 하는 교집합을 찾기 어렵고 중복투자를 방지하기 위해 만든 법안이 민간에서 개발한 기술일지라도 군에서 추가적인 개발노력을 하지 않고 도입만 하도록 만든 탓에 개발에 성공한 민간 업체에서 싼 가격에 공급한다는 보장 없이는 군에 도입할 법적 근거가 없어 전력화가 어렵고 군에서 핵심기술로 개발한 기술도 국가안보상 보안이 필요한 경우가 많아 쉽게 공유하기 어렵다. 그러나 개인전투체계는 다르다. 개인전투체계는 각개병사가 가지는 한계를 증폭시켜 한 차원 끌어올리는 것이다. 우리는 스스로 평범하다고 생각하고 평범한 사람이 전쟁을 한다는 편견을 가지고 있다. 그러나 미래 전장은 슈퍼맨처럼 강철 같은 체력과 천재적인 분석력을 가진 사람이 전장을 누벼주길 바라고 있다. 미래의 평범함은 슈퍼맨의 수준으로 될 가능성이 높다. 평범한 사람은 그 평범함 자체로 전투를 할 수 없고 슈퍼맨으로 탈바꿈 시켜주는 전투체계의 도움 없이는 전장에 잠시도 존재할 수 없다. 타고난 인간의 능력을 증폭시켜주고 인간이 가지고 있는 한계를 극복할 수 있도록 하는 새로운 가능성의 세계를 보여주는 공식적인 무기체계가 개인전투체계이다. 성공적인 개인전투체계의 개발은 국내외 많은 장애우들 에게 환영 받을 일임에 틀림없다. 그리고 건강한 인생을 추구하고 수명을 연장하고 싶은 인간의 본능에 충실한 노력으로 기록될 것이다. 대한민국 경제발전의 견인차 역할을 한 베이비부머들에게 해줘야할 것은 건강한 노후를 선물하는 것이다. [그림 4-15]와 유사한 모습을 한 외골격(**Exoskeleton**) 체계를 그들에게 제공하면 갈수록 불편해지는 거동을 도와줄 것임에 틀림없다. 시력이 나빠져 돌보기 없이는 신문조차 볼 수 없는 노인들에게 [그림 4-16]과 같은 인공 안구는 밝은 세상을 보여줄 것이고 뇌 과학의 발달에 힘입은 기술은 평범한 학생을 암기로부터 해방시켜 주고 예리한 판단력을 요구하는 새로운 시대로 안내하게 될 것이다. 미래 전장에서 지금의 평범함은 더 이상 평범함으로 존재하지 않을 것이다. 개인전투체계에 투입된 기술은 민간으로 적극적으로 **Spin-Off** 해서 평범함의 수준

을 상상조차 할 수 없을 정도로 높일 수 있을 것이다.



[그림 4-15] 개인전투체계에서 파생된 인공신체 기술. 신체의 일부가 불편한 장애우들의 생활을 지원하게 될 것이다.



[그림 4-16] 개인전투체계에서 파생된 인공안구. 인간이 사물을 보고 식별할 수 있는 능력은 인공안구를 통해 증폭될 것이다.

## V. 결론 및 향후 연구방향

개인전투체계를 발전시키는 것은 시대적 사조와 국가적 현실이 요구하는 절실한 사안이다. 한반도 작전환경에 저조한 출산율은 분명히 큰 문제임에 틀림없다. 정원이 부족한 부대는 어쩔 수 없이 사라지거나 줄어들어야 하지만 안보위협은 시간이 갈수록 심화되고 있다. 특히 한 부모 한 자녀 가정이 늘어나면서 각 자녀들이 가지는 가정 내 중요도가 갈수록 높아지고 있다. 그래서 군은 부모의 곁을 떠나 처음으로 오랜 시간 군복무 하는 젊은 전투원들을 보살피는 데 한 치의 소홀함도 없어야 한다.

국민들에게 국방비는 투자를 통해 소득을 창출하는 예산이 아닌 단지 지출만 하는 예산으로 인식되었다. 이를 극복하기 위해 방위산업을 육성하고 자주국방 달성을 목표로 많은 노력을 해왔으나 방산물자 수출은 아직 미약하기만 하다. 국방을 위해 개발된 기술이 언젠가 민간사회를 위해 **Spin-off** 될 것을 기대하며 국방과학 연구소와 유관 기관은 많은 노력을 하고 있으나 민간에 필요한 기술 또한 식별하기 어려운 실정이다. 그러나 개인전투체계는 성격이 다르다. 인간의 신체에서 나오는 기능들은 과거에 인간을 만물의 영장으로 만들기 충분했으나 만물의 영장들이 그들의 의지를 강요하기 위해 모든 능력을 총동원해야 하는 전쟁터에선 부족하기 짝이 없었다. 미래 개인전투체계는 이렇게 부족한 인간능력을 폭발적으로 증폭시켜 중국엔 초인적인 능력을 발휘할 수 있도록 하는 것이 목표이다.

인간의 신체는 일정한 시간이 지나면 탄력을 잃어버리고 노화의 길로 접어든다. 어느 누구도 피해갈 수 없는 정해진 길이다. 그래서 인간은 젊은 날 본인의 활동 능력이 최대로 왕성할 때를 그리워하며 신체 기능을 되돌리고 싶어 한다. 우리나라는 저조한 출산율과 함께 노령인구가 급속히 늘고 있는 사회로 변화하고 있다. 일본에서는 노령화 사회를 대비해 사회복지차원의 로봇을 개발하고 활용하려는 노력이 수십 년 전부터 시작됐다. 게다가 노인들의 거동을 보조하기 위한 외골격시스템도 도입되었다. 결과적으로 미래 개인전투체계 발전을 위한 노력은 사회적 파급효과가 큰 시장이 될 것임에 틀림없다.

본 연구는 한반도에서 벌어질 수 있는 미래전을 예측하고 육군이 제시한 능력기반소요제기 시스템을 적용하기 위해 '공세적 결정적 통합작전'을 수행하고 신속 결정적 효과기반 작전개념이 적용될 수 있는 싸우는 방법에 필요한 개인 전투체계 소요를 분석했다. 현재 각 대학과 연구소에서 진행 중인 내용들을 조합하여 상상할 수 있는 최대한의 산물을 도출하기 위해 노력했다. 그러나 국가 경제적 사정과 안보현안의 변화를 고려하지는 못했다. 향후 본 연구를 바탕으로 제한된 예산으로 가능한 최대의 효과를 달성 할 수 있는 방법에 관한 연구를 통해 수용 가능한 제한사항을 포함한 미래 개인전투체계에 최적화된 해를 찾아 보는 것으로 효율적인 대한민국 방위력 개선비용 사용에 기여해보고자 한다.

## 참 고 문 헌

- 미래 육군의 지상 작전 수행개념 발전 방향 (KRIS , 2013)
- 국방과학기술조사서 (국방기술품질원, 2014)
- 미래 지상전력 무기체계 개발동향 (육군교육사령부, 2011)
- NEURAL NETWORKS APPLICATIONS (IEEE TECHNICAL ACT4ITIES BOARD, 1996)
- 하이테크 전쟁 : 로봇 혁명과 21세기 전투 (지안출판사, 2011)
- Soldiers and Robots :Interaction Studies (Nova Science Pub, 2011)
- 국방백서, 2014
- 미래전 개념 및 전장공간, 전투수단, 전투형태 고찰, 강유병, 2011. 7. 7
- 국방백서, 2014
- 국방과학기술 기획체계 개선방안, 박민우, 2006
- 전장 환경과 지상군의 역할, 노훈, 2014
- 한국군 작전환경에 부합된 지상군 전력증강 방향, 이의성, 2014
- 미래전에서 육군항공 기동전 수행개념에 관한 연구, 한태일, 2012
- 한국군 미래 전투체계 발전방향 연구, 국방기술품질원, 2009
- 지상무기체계 발전방향, 안태영, 2007
- 미래전 개념 및 전장공간, 전투수단, 전투형태 고찰, 강유병, 2011
- 미래 전쟁수행개념과 양상, 이승호, 2014
- 전투수행 기능별 미래 지상무기체계 발전방안, 이수주, 신영순, 2015
- CJCSI 3170.01I, Chairman of the Joint Chiefs of Staff Instruction, 2015
- 미래 개인전투체계 운용개념 및 적정 작전요구능력 연구, 이춘주, 2011
- Future Soldier Initiat4e 2030, RDECOM, 2009
- 전쟁과 반전쟁 (War and Anti-War), 엘빈토플러, 청림출판, 1993



연·구·보·고 2·0·1·6

---

# 기계학습 이론의 국방 분야 적용방안 연구

김 수 환  
(국방대학교 교수)

2016. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	1
1. 연구개요 .....	2
1.1. 연구 배경 및 필요성 .....	2
1.2. 연구 목표 .....	2
1.3. 연구 내용 및 범위 .....	3
2. 기계학습(Machine Learning) 개요 .....	3
2.1. 기계학습의 정의 .....	3
2.2. 기계학습의 적용 단계 .....	4
2.3. 기계학습의 대표적인 활용분야 .....	5
2.3.1. 데이터베이스 마케팅(Database Marketing) .....	5
2.3.2. 신용평가(Credit Scoring) .....	6
2.3.3. 품질관리(Quality Control) .....	6
2.3.4. 부정행위의 적발(Fraud Detection) .....	6
2.3.5. 이미지분석(Image Analysis) .....	6
3. 기계학습 알고리즘 .....	7
3.1. 지도학습과 비지도학습 .....	7
3.1.1. 지도학습 .....	7
3.1.2. 비지도학습 .....	7
3.2. 기계학습 알고리즘의 종류 .....	8
3.2.1. 인공신경망(ANN, Artificial Neural Network) .....	8
3.2.2. 서포트 벡터 머신(SVM, Support Vector Machine) .....	12
3.2.3. 나이브 베이즈(Naive Bayes) .....	14

3.2.4. k-최근접 이웃 (kNN, k-Nearest Neighborhood) .....	16
3.2.5. 의사결정나무(DT, decision tree) .....	19
3.2.6. 회귀분석 .....	23
4. 국방분야 기계학습 연구 사례 .....	26
4.1. 의사결정나무를 활용한 병 사고예측 모델 개발 .....	27
4.1.1. 문제 식별 및 연구방법 .....	27
4.1.2. 데이터 수집 .....	28
4.1.3. 토픽분석 .....	29
4.1.4. 데이터 표준화 .....	30
4.1.5. 의사결정나무 구성 .....	31
4.2. 비행교육과정의 조종적성검사 항목 타당성 분석 .....	34
4.2.1. 분석 대상 자료 .....	35
4.2.2. 기존 조종적성검사 항목만 포함한 모형 .....	36
4.2.3. 추가 조종적성검사 항목을 포함한 모형 .....	40
5. 국방분야 적용을 위한 제언 .....	42
5.1. 국방분야 적용 방안 .....	44
5.2. 데이터 과학자(data scientist)의 양성 .....	45
6. 결론 .....	46

## 〈그림 목 차〉

〈그림 1〉 기계학습의 적용 단계 .....	4
〈그림 2〉 뉴런의 동작 .....	8
〈그림 3〉 기본 ANN 모델 .....	9
〈그림 4〉 로지스틱 시그모이드 .....	10
〈그림 5〉 SVM 개념도 .....	12
〈그림 6〉 3차원 그래프에서 고객들의 상대적 위치 .....	18
〈그림 7〉 은행고객의 신용상태 분류 .....	20
〈그림 8〉 모집단의 세분화 .....	23
〈그림 9〉 키-몸무게 그래프 .....	24
〈그림 10〉 사고예측모형 순서도 .....	28
〈그림 11〉 SNS 토픽 및 토픽별 키워드의 빈도수 .....	30
〈그림 12〉 SNS 데이터를 미포함한 의사결정나무 .....	32
〈그림 13〉 SNS 데이터를 포함한 의사결정나무 .....	34
〈그림 14〉 기계학습에 활용 가능한 국방 분야 데이터 .....	43
〈그림 15〉 데이터 과학의 영역 .....	45

## 〈표 목 차〉

〈표 1〉 해당 단어를 포함하는 메일의 빈도수 .....	15
〈표 2〉 고객별 속성 및 표준화 .....	18
〈표 3〉 키워드별 빈도 및 TF-IDF(예) .....	29
〈표 4〉 데이터 표준화 결과 .....	31
〈표 5〉 SNS데이터를 미포함한 모형별 오분류율 .....	32
〈표 6〉 SNS데이터를 포함한 모형별 오분류율 .....	33
〈표 7〉 한국 공군의 조종적성검사 항목 .....	35
〈표 8〉 연구에 추가 투입된 조종적성검사 항목 .....	36
〈표 9〉 연속형 변수의 피어슨 상관관계 분석 .....	37
〈표 10〉 기존 조종적성검사 항목의 t-검정 결과 .....	38
〈표 11〉 모형별 정확도 및 변수 선택 결과 .....	39
〈표 12〉 추가된 연속형 조종적성검사 항목의 t-검정 결과 .....	40
〈표 13〉 추가된 범주형 조종적성검사 항목의 -검정 결과 .....	41
〈표 14〉 모형별 정확도 및 변수 선택 결과 .....	42
〈표 15〉 장비별 CSP 적중률 .....	44

## 요 약 문

IT기술의 급격한 발전과 더불어 생성되는 데이터의 양이 기하급수적으로 늘어남에 따라 빅데이터 시대를 맞이하였다. 국방분야에서도 지휘통신 체계, 군수분야, 인사 및 의료분야, 과학화 훈련 등에서 영상, 음성, 텍스트 등 정형 및 비정형의 다양한 데이터가 축적되었고 지금도 축적되고 있다.

최근 민간 및 공공 분야에서는 축적된 데이터에 기계학습 기법을 적용한 성공적인 사례들이 지속적으로 보고되고 있지만, 국방분야에서는 상대적으로 데이터의 활용이 미흡한 실정이다. 따라서 이번 연구보고서에는 기계학습의 의미와 기계학습 알고리즘의 종류에 대해서 설명하고, 기계학습이 국방 분야에 적용된 사례를 소개함으로써 국방 데이터 활용의 필요성과 중요성을 인식하는데 기여하고자 한다.

본문에서는 먼저, 기계학습에 잘 사용되는 6가지 알고리즘(인공신경망, 서포트 벡터 머신, 나이브 베이즈, k-최근접 이웃, 의사결정나무, 회귀분석)에 대해서 설명하고, 다음으로 국방분야에 적용된 연구사례로 병 사고를 예측하기 위한 모델과 공군 비행과정의 조종적성검사 항목의 타당성을 분석하는 방법을 소개하였다. 마지막으로 국방분야에서 잠재적 활용가치가 풍부한 데이터들을 활용하는 몇 가지 방안과 데이터 활용을 극대화하기 위해 데이터 과학자(data scientist)양성의 필요성을 역설하였다.

본 연구보고서를 통해서 의사결정자 및 실무자가 데이터 활용의 중요성과 기계학습 적용의 필요성을 인식한다면 국방의 다양한 분야에서 데이터 활용이 활성화되어 국방 운영의 효율성이 증대될 것으로 기대한다.

# 1. 연구개요

## 1.1. 연구 배경 및 필요성

IT기술의 급격한 발전과 더불어 생성되는 데이터의 양이 기하급수적으로 늘어남에 따라 빅데이터 시대를 맞이하였으며, 최근 우리사회의 공공 및 민간부분의 다양한 영역에서 빅데이터 분석이 필수적으로 자리잡아 가고 있다. 빅데이터 분석에는 수학, 통계, 컴퓨터 등 다양한 기술이 요구되고 있으며 기계학습도 데이터 분석에 필수적인 요소로 자리잡고 있다.

최근 민간 및 공공 분야에서 기계학습의 성공적인 적용 사례가 지속적으로 보고됨에 따라 데이터 자체의 중요성뿐만 아니라 이를 활용하여 데이터의 가치를 높이는 것은 필수적인 것으로 인식되고 있다. 국방 분야에서도 축적된 데이터를 활용하여 국방 효율화를 달성하기 위한 노력이 증대되고 있다. 국방 행정, 군수, M&S, 의료 등 다양한 분야에서 현재에도 계속 데이터가 축적되고 있으며, 이를 효율적으로 활용하기 위한 노력이 필수적이다.

미국은 일찍이 Big Data R&D Initiative(2012)를 발표하면서 빅데이터 관련 기술 육성을 위해 정부차원에서 대대적인 지원을 하고 있으며 2012년 이후 군사관련 빅데이터 프로젝트에 연간 2억5000만 달러를 투입하고 있다. 빅데이터관련 연구의 대부분이 데이터로부터 유용한 정보를 얻기 위해서 적절한 기계학습 알고리즘을 적용하거나 개발하는 것이다.

북한과 대치하고 있는 현 안보상황을 고려해 볼 때 주변에 산재해 있는 방대한 양의 데이터로부터 더 빨리 더 유용한 정보를 찾아내고 분석하는 것이 우리에게서 무엇보다도 중요하다. 따라서 과거 어느 때보다도 다양하고 방대한 양의 데이터를 보유한 지금 이 시점에서 데이터를 통한 새로운 가치 창출을 위해 기계학습에 대한 관심을 증대시킬 필요가 있다.

## 1.2. 연구 목표

본 연구의 목표는 기계학습의 정의 및 다양한 알고리즘을 소개하여 기계학습에 대한 이해를 증진시키고, 기계학습이 적용된 국방 연구 사례를 소개함으로써 기계학습의 중

요성을 부각시키고 데이터 분석과 관련된 의사결정자 및 실무자들이 기계학습을 통한 데이터 분석의 중요성을 공감하도록 하는 것이다.

### 1.3. 연구 내용 및 범위

본 연구에서는 먼저 기계학습의 정의, 적용단계, 대표적인 활용분야를 소개하고 기계 학습 알고리즘 중에서 널리 사용되며 쉽게 이해할 수 있는 인공신경망, 서포트 벡터 머신, 나이브 베이즈, k-최근접 이웃, 의사결정나무, 회귀분석에 대해서 소개한다.

또한 현재 실무에서 활용되고 있는 국방 분야 데이터를 활용하여 어떻게 기계학습 알고리즘이 적용되고 유용한 정보를 추출 할 수 있는지를 연구 사례를 통해서 설명한다. 아울러 기계학습 이론이 향후 국방 분야에 적용 가능한 다양한 분야를 제시한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 기계학습의 개요에 대해서 설명하고, 3장에서는 다양한 기계학습의 알고리즘을 소개하며, 4장에서는 기계학습을 적용한 국방 분야 연구 사례 2가지를 소개한다. 5장에서는 기계학습의 국방분야 적용 방안에 대해서 제시하고 6장에 결론을 제시한다.

## 2. 기계학습(Machine Learning) 개요

### 2.1. 기계학습의 정의

우리는 오감(시각, 후각, 미각, 청각, 촉각)을 통해서 무수히 많은 정보를 받아들이고, 뇌는 그 정보를 즉시 처리하여 반응하게 하거나 뇌 속에 저장하여 나중에 이용할 수 있도록 해 준다. 기계학습이란 컴퓨터 시스템, 소프트웨어 등의 기계가 인간과 같은 학습을 통해 다양한 데이터를 수집하고 주어진 데이터를 분석하여 판별하고 새로운 지식을 추출해내는 등 기계가 학습하는 효과를 얻도록 하는 기술을 말한다.

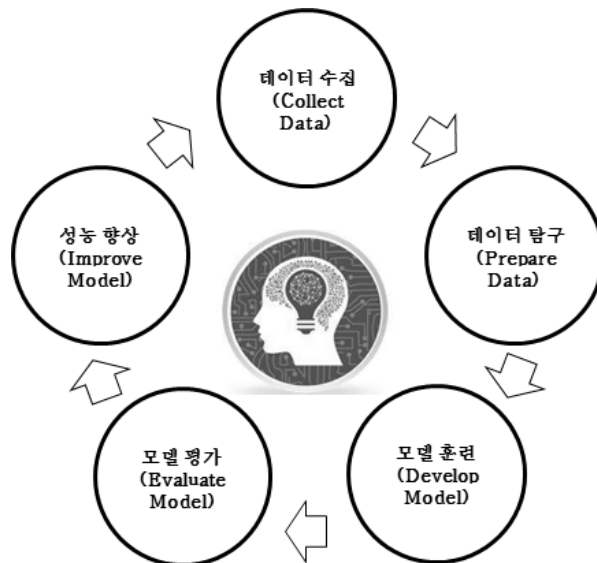
기계학습에 대한 통일된 정의는 없으나, 여기에 ETRI의 정의를 소개한다. 기계학습이란, “인간과 같은 학습 능력을 기계를 통해 구현하는 여러 가지 방법들에 대해 연구하는 것을 말하며, 주어진 데이터를 분석하여 분석된 결과에서 학습 가능한 규칙이나 새로운 지식을 자동적으로 추출해 궁극적으로는 기계가 학습하는 효과를 얻도록 한다 (빅데이터 활용을 위한 기계학습 기술동향, ETRI).”라고 정의하였다.

따라서 기계학습은 이미 알고 있는 지식-주로 축적된 데이터를 의미함-을 활용하여 일정한 패턴이나 규칙을 찾아서 미래에 발생할 상황-주로 새로 획득되는 데이터를 의미함-에 대해 기계가 스스로 판단할 수 있는 능력을 갖도록 하는 것이다. 엄밀히 말해서 인류는 태초부터 엄청난 양의 데이터에 둘러싸여 있었지만, 그러한 자원을 활용하는 방법을 잘 알지 못했다. 하지만 최근에 강력한 컴퓨팅 파워와 통계 기법들이 급속도로 발전하면서 데이터를 효율적으로 활용하게 되었으며, 지금에는 기계가 인간의 행동을 모방하여 스스로 학습하고 성능을 향상시킬 수 있게 되었다.

기계학습의 학습능력은 인공지능 관점에서 매우 중요한 문제로 컴퓨터가 계속적으로 지식을 확장시켜 인간과 같은 지적 능력을 가질 수 있게 되면 전문가 시스템 구성의 자동화를 촉진시킬 수 있고, 그 결과 인공지능은 급속도로 발전시킬 수 있을 것으로 전망하고 있다.

## 2.2. 기계학습의 적용 단계

기계가 데이터를 가지고 학습하고 적용하는 데에는 <그림 1>과 같이 5단계의 과정을 거쳐서 이루어진다.



<그림 1> 기계학습의 적용 단계

**데이터 수집(Collect data)** 정형이든 비정형이든 관련된 데이터를 수집하고 기계가 분석할 수 있도록 전자화 하는 것이다. 비용과 시간을 고려하여 관련 데이터의 전체 또는 일부만을 수집하여 분석 할 수도 있다.

**데이터 준비와 탐구(Exploring and preparing the data)** 기계학습의 성패는 학습에 사용되는 데이터의 질에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 최근에는 기계가 정형, 비정형을 가리지 않고 분석하지만, 아직까지 임의 형태의 데이터를 기계가 스스로 처리하는 데에는 한계가 있으므로 데이터를 기계가 인식할 수 있도록 만들어 주는 인위적인 노력이 필요하다. 통계적으로 80%이상의 노력이 기계학습을 위한 데이터 준비에 들어간다고 한다.

**데이터로 모델 훈련(Training the model on the data)** 데이터가 준비되면 적절한 기계학습 알고리즘을 선택하고 선택된 알고리즘에 이전 단계에서 준비한 데이터를 입력하여 기계를 훈련시킨다. 이 단계에서 기계는 이미 훈련되어 있어서 추가적인 데이터를 활용해 성능을 향상 시킬 수 있다.

**모델 평가(Evaluate model performance)** 기계 학습을 통해서 학습된 결과가 얼마나 실생활에 잘 부합되는지를 확인하는 것은 모델의 사용 전에 필수적이다. 모델의 평가는 수집된 데이터의 일부만을 사용하거나 새로운 데이터를 수집하여 평가할 수 있다.

**성능 향상(Improving model performance)** 일반적으로 새로운 데이터는 계속 축적된다. 따라서 추가적인 데이터를 입력하여 추가적인 학습을 시키거나 축적된 데이터의 양 또는 성질이 바뀌면 기계 학습 알고리즘을 변경하여 모델의 성능을 향상 시킬 수 있다.

〈그림 1〉에서 보듯이 기계학습의 단계는 1회성이 아니라 데이터가 계속 업데이트 되는 한 계속해서 반복적으로 발생한다는 것을 명심해야 한다.

## 2.3. 기계학습의 대표적인 활용분야

### 2.3.1. 데이터베이스 마케팅(Database Marketing)

기계학습이 가장 성공적으로 적용되고 있는 분야 중의 하나로 목표마케팅(Target Marketing), 고객세분화(Segmentation), 고객성향변동분석(Churn Analysis), 교차판매(Cross Selling), 장바구니 분석(Market Basket Analysis) 등에서 주로 이용된다. 데이

터베이스 마케팅은 소매, 통신판매, 금융서비스, 건강, 보험, 통신, 운송, 제약 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

### 2.3.2. 신용평가(Credit Scoring)

신용평가는 특정인의 신용거래 대출한도를 결정하는 것이 주 업무로서 목적은 불량채권과 대손을 추정하여 이를 최소화하기 위한 것이다, 신용거래 확대를 위한 의사 결정 적용분야로서는 신용카드, 주택할부금융, 소비자 대출, 상업 대출 등을 들 수 있다. 신용평가의 중요한 사안은 현재의 대출 한도액을 유지, 관리하면서 불량채권에 대한 최선의 대응책을 결정하는 것이다. 신용관리는 은행, 금융서비스, 저당권보험(담보부 보험), 소매(할부판매) 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

### 2.3.3. 품질관리(Quality Control)

품질관리의 목적은 불량품을 찾고, 그 원인을 밝혀서 궁극적으로 이를 예방하는 것이다, 병원과 의료보험조합 등에서는 병원에서 발생하는 사망, 불필요한 장기입원 및 의료비의 과다청구에 초점을 맞추고 있으며, 제조업체에서는 제품보증청구를 유발시키는 불량품 감소를 통한 이윤증가에 중점을 두고 있다.

### 2.3.4. 부정행위의 적발(Fraud Detection)

부정행위적발의 목적은 고도의 사기행위를 발견할 수 있는 패턴을 알아내는 것이다. 은행에서는 발견된 패턴을 이용하여 신용카드 거래사기 및 불량수표를 적발 할 수 있고, 통신회사에서는 전화카드거래사기를 방지하며, 보험회사에서는 허위 및 과다 청구를 예방할 수 있다.

### 2.3.5. 이미지분석(Image Analysis)

이미지분석은 디지털 데이터로부터 패턴을 추출하는 기법이며, 천문학, 문자인식, 의료진단, 방위산업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

## 3. 기계학습 알고리즘

### 3.1. 지도학습과 비지도학습

기계학습은 일반적으로 주어진 입력패턴과 그 패턴에 대한 출력값을 동시에 기억시키는 지도학습(supervised learning)과 입력 패턴만 주어 학습시키는 비지도학습(unsupervised learning)으로 나눌 수 있다.

#### 3.1.1. 지도학습

지도학습은 구체적인 훈련데이터(training Data)로부터 일반적인 하나의 특성을 추론해내기 위한 기계학습의 가장 대표적인 방식을 말한다. 지도학습에서 훈련데이터는 입력데이터와 출력데이터를 동시에 가지고 있다. 이때 지도학습 알고리즘은 일련의 입력값과 그에 상응하는 목표 출력값을 수신하고, 실제 출력값과 목표값을 비교하는 학습을 통해 오류를 찾아낸 다음 이 결과를 근거로 모델을 수정한다.

지도학습은 주어진 데이터들로부터 새로운 패턴을 찾아내고 결론을 이끌어내는 등 병합된 지식 기반 위에서는 잘 수행되는데 반해, 스스로의 학습을 통해 새로운 지식을 생성하거나 획득은 불가능하다. 또한 지도학습은 사전에 반드시 학습데이터가 제공돼 있어야만 하고 사전 학습데이터가 적으면 오류가 커진다는 단점이 있다.

지도학습을 이용한 알고리즘으로는 서포트 벡터 머신(support vector machine), 의사결정나무(decision trees), 회귀분석(linear regressions), 인공신경망(artificial neural network) 등이 있다.

#### 3.1.2. 비지도학습

자율학습이라고도 하는 비지도학습이 지도학습과 가장 큰 차이점은 출력데이터가 없다는 것이다. 사전정보가 없고 입력에 대한 목표치가 주어지지 않으므로, 스스로의 학습을 통해 귀납적 추론이 가능한 방식으로, 주어진 데이터로부터 패턴/연관 규칙을 탐색하고 찾아내는 기계학습 방법이다.

유사한 특징을 가진 데이터끼리 군집을 이루게 되고, 그 과정에서 다른 특징을 가진 데이터는 제외시키는 등의 방식으로 새로운 지식을 생성하거나 연습을 통해 스스로 능

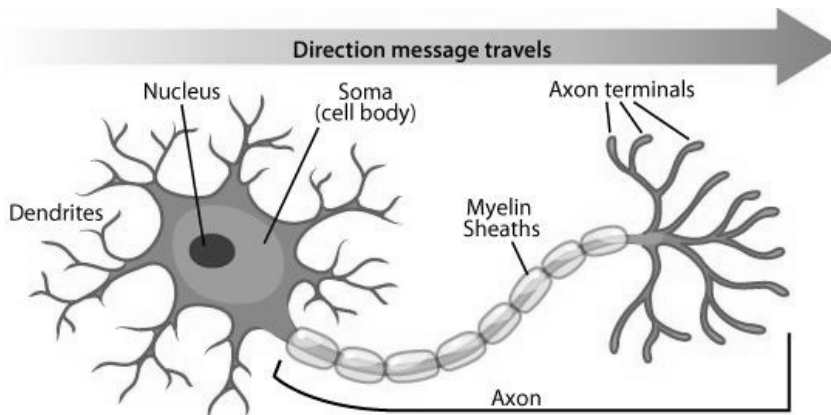
력을 향상시킬 수 있는 학습방법이다.

비지도학습을 이용한 알고리즘으로는 군집화(clustering), 차원축소(PCA, SVM), 연관규칙 분석(associate rule) 등이 있다.

## 3.2. 기계학습 알고리즘의 종류

### 3.2.1. 인공신경망(ANN, Artificial Neural Network)

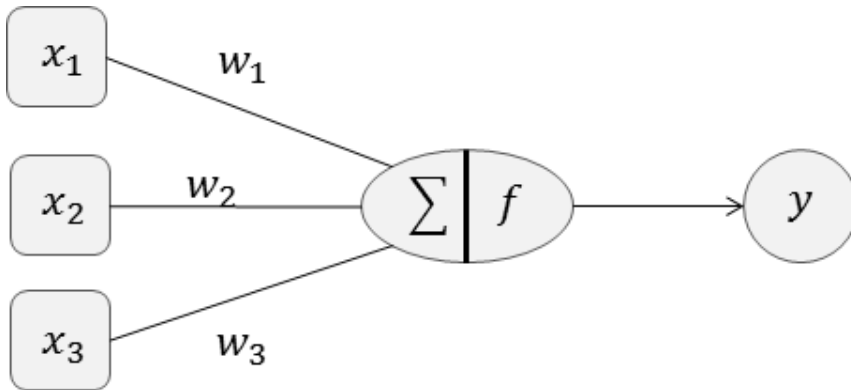
ANN은 뇌가 생물학적으로 감각 입력의 자극에 대하여 뉴런(neuron)이 반응하는 것을 모방한 알고리즘이다. 따라서 인간 뇌의 기본적인 기능을 이해하는 것이 ANN을 이해하는데 도움이 된다. <그림 2>에서 보듯이 외부의 자극(즉, 입력 신호)는 뉴런의 수상돌기(dendrites)에서 받아들인 후 세포몸체(soma)는 입력된 신호를 축적해서 어떤 경계값에 도달하면 출력신호를 축색돌기(axon)에 전달한다. 축색돌기를 통해서 전달된 신호는 축색돌기 말단(axon terminals)에서 화학적 신호로 처리되고 시냅스(synaps)라는 작은 간극을 통해서 이웃 뉴런으로 전달된다. 이때 시냅스는 인간의 학습능력을 담당하고 있으며, 자극에 따라 생성되기도 하고 소멸되기도 한다.



<그림 2> 뉴런의 동작

<그림 3>은 생물학적 뉴런의 동작원리를 응용하여 만든 단순한 ANN 모델을 보여주고 있다.

〈그림 3〉이 나타내는 ANN은 입력층(input layer)에 3개의 노드, 은닉층(hidden layer)에 1개의 노드, 출력층(output layer)에 1개의 노드가 있다. 수상돌기의 역할을 하는 입력층에서 받은 입력 신호(x 변수)와 축색돌기 말단의 역할을 하는 출력층의 결과 신호(y 변수) 간의 관계를 방향성 네트워크(directed network)로 나타내고 있다.



〈그림 3〉 기본 ANN 모델

생물학적 뉴런과 마찬가지로 각 수상돌기의 신호는 중요도에 따라 가중치(w 값)를 가진다. 입력 신호는 세포 몸체(〈그림 3〉의 중간 노드)의 역할을 하는 은닉층에서 합해지고, 합해진 신호는 f로 표기된 활성화함수(activation function)에 따라 신호가 전달된다. n개의 입력 신호를 갖는 ANN의 활성화 함수를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y(x) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)$$

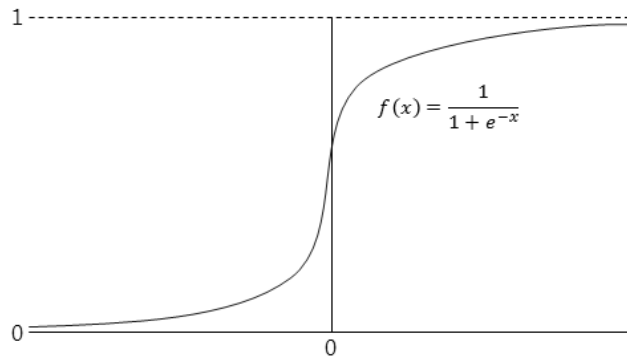
n개의 입력 신호  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 에 연결강도인 가중치  $w_i$ 에 대한 선형 조합을 넷(net)라 한다. 넷이 활성화 함수 f(x)로 들어가면 결과 신호인 y(x)가 축색돌기로서 출력된다.

활성 함수는 ANN이 정보를 처리하거나 네트워크 전체로 전달하는 내부 작동을 나타낸다. 생물학적 뉴런의 경우 세포 몸체에서 합해진 전위가 임계치(threshold)에 도달하면 전기 파동인 활동 전위(action potential)가 축색돌기를 통해서 전달되는 과정이 활성화 함수의 동작모습이다. 전위가 임계치를 만족시키지 못하면 아무 일도 일어나

지 않는다. ANN 용어로 이를 경계 활성화 함수(threshold activation function)라 한다. 이 함수는 명시된 입력들의 합이 임계치에 이르면 출력 신호를 만든다. 다음 식은 입력 신호의 합이 0보다 클 때 신호를 전달하게 하는 전형적인 계단 활성화 함수(unit step activation function)을 나타낸다.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases}$$

활성화 함수는 데이터의 특성을 반영할 수 있는 수학적 함수가 선택된다. 일반적으로 많이 사용되는 활성화 함수는 시그모이드(sigmoid)함수이며, <그림 4>는 로지스틱 시그모이드 함수를 나타낸다.



<그림 4> 로지스틱 시그모이드

활성화 함수들 간의 기본적인 차이는 출력 신호 범위이다. 앞서 설명한 계단 활성화 함수의 출력 신호는 0 또는 1이며, 로지스틱 활성화 함수는 (0, 1) 사이의 값을 출력한다. 이외에도 시그모이드 함수의 일종인 쌍곡 탄젠트 활성화 함수는 (-k, k)의 값을 출력한다.

ANN의 학습은 가중치(w 값)을 조정하여 원하는 출력값을 얻도록 가중치를 조절하는 과정이다. 가중치를 조절하는 방법으로 역전파 알고리즘(back propagation algorithm)이 널리 사용되며, 기본 단계는 다음과 같다.

단계 1 : Loss function을 정의한다. Loss function은 모델의 입력값과 원하는 출력값이 얼마나 차이 나는 지를 측정한다. 예를 들어, 오차제곱합(sum of

squared errors)이나 엔트로피 등이 사용된다.

단계 2 : Feed forward 과정을 수행한다. 입력층에 들어오는 입력값과 가중치들의 합이 은닉층으로 들어가고 활성화 함수의 임계치에 따라서 활성화 여부가 결정된다.

단계 3 : Backward propagation 과정을 수행한다. Loss function을 이용해서 출력층의 출력값과 실제값을 비교한다. 원하는 실제값을 얻기 위해서 Loss function이 생성한 오차를 출력층-은닉층-입력층 순으로 역으로 전파해서 가중치를 조정한다.

단계 4 : 원하는 출력값을 얻을 때 까지 단계 2, 3을 반복한다.

ANN은 데이터의 형태와 요망하는 출력값의 정확도 등에 따라 층의 개수, 층 내에 있는 노드의 개수 등을 조정하여 사용할 수 있다. 복잡한 형태의 데이터에 대해서 복잡한 ANN을 만드는 쉬운 방법은 층을 추가하는 방법이다. 일반적으로 입력층은 출력층에 영향을 미치는 변수들 수만큼 결정이 된다. 은닉층은 원하는 만큼 추가할 수 있으나 ANN의 해석을 어렵게 만든다. 많은 경우 작은 은닉 노드를 가지고도 ANN은 대단한 학습 능력을 제공한다.

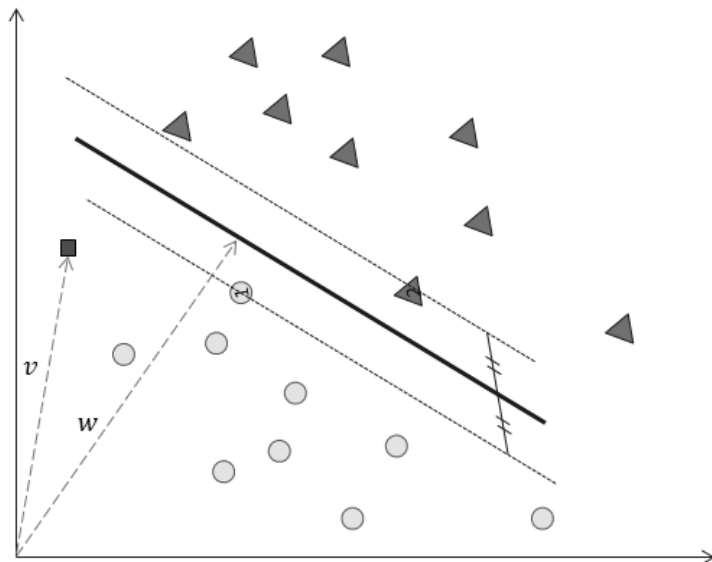
층의 개수와 더불어 ANN은 각 층의 노드 개수에 따라 복잡성이 다양해진다. 입력 노드의 개수는 입력 데이터의 속성 개수로 결정되며, 마찬가지로 출력 노드의 개수는 결과의 분류 개수나 모델의 결과 수가 된다. 하지만 은닉층의 뉴런 개수를 결정하는 특별한 규칙은 존재하지 않는다. 적당한 개수는 입력 노드의 개수, 훈련 데이터의 개수, 노이즈한 데이터의 양, 다른 인자와 학습 태스크의 복잡성에 달려 있다.

일반적으로 많은 네트워크로 된 복잡한 ANN이 복잡한 문제에 대한 학습을 할 수 있다. 하지만 지나치게 많은 층과 노드는 과적합화의 위험을 초래할 수 있다. 또한 큰 ANN은 훈련이 느리며 계산적으로 고비용이다. 가장 현명한 전략은 유효한 데이터에 대해 적당한 성능을 낼 수 있는 가장 적은 노드를 사용하는 방법이다.

### 3.2.2. 서포트 벡터 머신(SVM, Support Vector Machine)

SVM은 서로 다른 부류의 데이터가 섞여 있을 때 이들을 분류하기 위한 선 또는 (초)평면을 찾는 것이다. SVM의 기본 개념은 이해하기가 쉬운 반면에 SVM을 생성하는 기본적인 수학은 몇 십년전에 만들어 졌다. <그림 5>는 SVM의 기본 개념을 도식화 한 것이다.

<그림 5>에서 처럼 2종류의 데이터들이 섞여 있을 때 각 분류에 속하는 데이터로부터 같은 간격으로, 그리고 최대로 이격되어 있는 선 또는 (초)평면(그림에서 굵은 실선)을 찾는 것이다. 이러한 선 또는 (초)평면을 최대 여백 초평면(MMH, maximum margin hyperplane)이라고 한다. 각 분류에서 MMH에 가장 가까운 데이터들(그림에서 1, 2 번 데이터)을 서포트 벡터라고 한다.



<그림 5> SVM 개념도

SVM을 명확히 이해하기 위해서 벡터 기하학을 이용해서 MMH를 찾는 방법을 설명할 필요가 있다. SVM은 <그림 5>와 같이 선형적으로 구분 가능한 데이터뿐만 아니라 비선형으로 구분 가능한 데이터에도 적용가능하다. 비선형으로 구분 가능한 데이터인 경우에는 커널 트릭(kernel trick)이라는 기법을 사용하며, 기본 개념은 주어진 데이터를 적절한 고차원으로 옮긴 뒤 변환된 차원에서 SVM을 사용해 MMH를 찾는 것이다.

SVM의 이해를 돕기 위해서 <그림 5>와 같이 선형적으로 구분 가능한 데이터인 경우에 MMH를 찾는 방법을 설명한다.

MMH는 각 분류의 서포트 벡터로부터 동일한 거리( $\delta$  라고 하자)만큼 떨어져 있어야 하므로, 법선 벡터( $w$ )를 사용하여 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} w \cdot x + b &\geq +\delta \\ w \cdot x + b &\leq -\delta \end{aligned}$$

식에서  $\cdot$  은 내적을 의미하며,  $b$ 는 임의의 상수이다. 식에서 우리가 찾는 것은 법선 벡터( $w$ )와 상수( $b$ )이다. 두 값을 모두 모르기 때문에 임의의 상수( $\delta$ )로 나누어도 여전히 모르는 상태이므로 위 식을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} w \cdot x + b &\geq +1 \\ w \cdot x + b &\leq -1 \end{aligned}$$

위 두 초평면 사이의 거리는  $\frac{2}{\|w\|}$  이다. <그림 5>에서  $x$ 가 삼각형 데이터이면 +1의 값을 갖고, 동그라미 데이터이면 -1의 값을 갖는 이진 변수( $y$ )를 도입하면 SVM은 다음과 같은 최적화 문제가 된다.

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{s.t.} & y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1, \forall x_i \\ & y_i \in \{0,1\} \end{aligned}$$

수학적 편의를 위해서  $\frac{2}{\|w\|}$ 를 최대화 하는 문제는  $\frac{1}{2} \|w\|^2$ 를 최소화 하는 문제와 같기 때문에 이를 목적함수로 사용하였다.

위의 최적화 문제의 해( $w, b$ 의 값)가 MMH를 만들며 MMH를 이용한 분류의 Decision Rule은 다음과 같다. <그림 5>에서 새로운 데이터(좌측의 사각형)가 삼각형 데이터 분류에 속하는지 동그라미 데이터 분류에 속하는지 판단한다고 하자. 데이터가 MMH를 기준으로 위에 있으면 삼각형 데이터로 분류하고, 밑에 있으면 동그라미 데이터로 분류하는 것이다. SVM은 분류와 수치 예측을 포함한 거의 모든 학습업무에 널리 사용할 수 있다.

### 3.2.3. 나이브 베이즈(Naive Bayes)

나이브 베이즈는 설명변수들이 서로 독립이라는 가정하에 베이즈 정리를 응용한 분류 알고리즘이며, 주로 스팸 필터나 키워드 검색을 활용한 문서 분류에 많이 사용된다. 나이브 베이즈를 설명하기 전에 먼저 베이즈 정리에 대해서 소개한다.

베이즈 정리에서 사건  $B$ 가 일어났을 때 사건  $A$ 가 일어날 확률  $P(A|B)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

여기서  $P(A|B)$ 를 사후확률(posterior probability),  $P(A)$ 를 사전확률(prior probability),  $P(B|A)$ 를 우도(likelihood),  $P(B)$ 를 주변우도(marginal likelihood)라고 한다. 이제 베이즈 정리를 바탕으로 나이브 베이즈를 설명한다.  $A$ 가  $m$ 개의 클래스 가지고, 입력값으로 벡터  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 가 들어 왔을 때, 클래스가  $A_i$ 일 확률은 다음과 같다.

$$P(A_i|B) = \frac{P(B_1, B_2, \dots, B_n | A_i)P(A_i)}{P(B)} = \frac{P(B_1 | A_i)P(B_2 | A_i) \dots P(B_n | A_i)P(A_i)}{P(B)}$$

식에서 두 번째 등호가 성립하는 것은 나이브 베이즈는 기본적으로  $B_1, B_2, \dots, B_n$ 을 독립으로 가정하기 때문이다. 이러한 가정 때문에 naive라는 명칭이 붙었으며 이러한 가정이 없으면 위의 조건부 확률 계산은 아주 복잡해진다. 클래스가 여러 개일 경우 다음의 법칙으로 분류한다.

$$\text{Selected Class} = \operatorname{argmin}_i \{P(A_i|B)\}$$

입력값에 대한 우도를 계산 시 학습 데이터에 없는 값이 입력값이 된다면 특정  $B_i$ 값이 존재하지 않으므로  $P(B_1 | A_i)P(B_2 | A_i) \dots P(B_n | A_i)$ 이 0이 되어 나이브 베이즈가 올바르게 작동하지 않을 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 라플라스 추정기(laplace estimator)를 사용한다. 라플라스 추정기는 각  $B_i$ 의 빈도수에 1을 더하여서 확률이 0이 되는 경우를 인위적으로 제거하는 것이다.

나이브 베이즈는 스팸메일 필터에 효과적으로 이용되고 있는데, 어떻게 스팸을 구분하는지 알면 나이브 베이즈를 더 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 학습 데이터로 20개의

스팸메일과 40개의 일반메일을 분석하여 해당 단어가 나오는 메일 개수를 분석한 결과가 <표 1>과 같다고 하자.

<표 1> 해당 단어를 포함하는 메일의 빈도수

구 분	연애(B <sub>1</sub> )	보험(B <sub>2</sub> )	식품(B <sub>3</sub> )	주소(B <sub>4</sub> )
	메일 빈도	메일 빈도	메일 빈도	메일 빈도
스 팸	5/20	12/20	0/20	11/20
일반 메일	2/40	13/40	0/40	22/40

베이즈 이론을 이용하여 연애와 주소라는 글자를 포함하고, 보험과 식품을 포함하지 않는 메일이 스팸 또는 일반메일(ham)일 확률을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & P(\text{Spam}|B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4) \\
 &= \frac{P(B_1|\text{Spam})P(\bar{B}_2|\text{Spam})P(\bar{B}_3|\text{Spam})P(B_4|\text{Spam})P(\text{Spam})}{P(B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & P(\text{Ham}|B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4) \\
 &= \frac{P(B_1|\text{Ham})P(\bar{B}_2|\text{Ham})P(\bar{B}_3|\text{Ham})P(B_4|\text{Ham})P(\text{Ham})}{P(B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4)}
 \end{aligned}$$

나이브 베이즈는 확률의 크기를 비교하여 분류하기 때문에 위의 식에서 분자는 같으므로 계산하지 않아도 된다. 따라서 나이브 베이즈 분류값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & P(\text{Spam}|B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4) \\
 &= P(B_1|\text{Spam})P(\bar{B}_2|\text{Spam})P(\bar{B}_3|\text{Spam})P(B_4|\text{Spam})P(\text{Spam}) \\
 &= \frac{5}{20} \times \frac{8}{20} \times \frac{20}{20} \times \frac{11}{20} \times \frac{20}{60} = 0.018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & P(\text{Ham}|B_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3, B_4) \\
 &= P(B_1|\text{Ham})P(\bar{B}_2|\text{Ham})P(\bar{B}_3|\text{Ham})P(B_4|\text{Ham})P(\text{Ham}) \\
 &= \frac{2}{40} \times \frac{13}{40} \times \frac{40}{40} \times \frac{22}{40} \times \frac{40}{60} = 0.006
 \end{aligned}$$

결과값을 보면 해당 메일이 스팸일 가능성이 더 높다고 할 수 있다. 이를 확률로 나타내면 스팸일 확률은  $\frac{0.018}{(0.018+0.006)}=0.75$  이고 따라서 일반메일일 확률은 0.25이다.

라플라스 추정기의 사용법을 이해하기 위해 이번에는 해당 메일에 모든 단어가 다 포함되어 있을 때 스팸 또는 일반 메일일 확률은  $P(B_3|Spam)=0, P(B_3|Ham)=0$  이 된다. 따라서 빈도수에 1을 더하여 분류값을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &P(Spam|B_1, B_2, B_3, B_4) \\
 &= \frac{6}{24} \times \frac{13}{24} \times \frac{1}{24} \times \frac{12}{24} \times \frac{20}{60} = 0.058 \\
 &P(Ham|B_1, B_2, B_3, B_4) \\
 &= \frac{3}{44} \times \frac{14}{44} \times \frac{1}{44} \times \frac{23}{44} \times \frac{40}{60} = 0.0001
 \end{aligned}$$

상기 결과를 바탕으로 해당 메일일 스팸일 확률은 0.99이고 일반메일일 확률은 0.001로 판단한다.

### 3.2.4. k-최근접 이웃 (kNN, k-Nearest Neighborhood)

유유상종(類類相從)이라는 말이 있다. 같은 종류 끼리 어울린다는 말이다. 데이터에도 이 개념을 적용해서 비슷한 특성을 가지는 개체들은 가까이 있을 것이라는 전제하에 개발된 알고리즘이다. 대부분의 기계학습 알고리즘은 훈련 데이터(training data)를 가지고 학습이 되면 새로운 데이터를 입력받아 결과를 낸다. 반면에 kNN은 관심있는 (또는 분류하고자 하는)데이터가 주어진 이후에 학습이 일어나기 때문에 게으른 학습(lazy learning)이라고도 한다.

kNN의 작동원리는 간단하며 다음과 같다. 먼저, n개의 범주형 데이터가 있다고 하고 각 데이터들의 속성은 좌표로 나타낸다. 다음으로 분류하고자 하는 새로운 데이터와 각 데이터들간의 거리를 계산하여 그 중에서 가장 가까운 k개의 데이터들을 찾고, k개 중에서 다수결의 원칙을 통해서 새로운 데이터를 분류한다. 따라서 kNN을 사용 전에 2가지를 결정해야 한다. 즉, 거리측정 방법과 적당한 k를 결정해야 한다.

속성 벡터  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 와  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 가 있을 때 이들 사이의 거리 측정

에는 다음과 같은 방법들이 있다.

$$\text{Euclidean distance} : \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}$$

$$\text{Manhattan distance} : |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + \dots + |x_n - y_n|$$

$$\text{Minkowski distance} : (|x_1 - y_1|^q + |x_2 - y_2|^q + \dots + |x_n - y_n|^q)^{1/q}$$

어떤 거리측정 방법을 사용할지는 데이터의 속성과 분류의 정확성에 미치는 영향에 따라 다르겠지만 kNN은 Euclidean distance를 많이 사용한다.

거리 측정도구의 특성상 값이 큰 속성에 영향을 더 많이 받는다. 예를 들어, 연령과 수입이라는 속성이 있을 때 연령은 일반적으로 100이하의 값을 갖지만 수입은 어떤 단위를 쓰느냐에 따라서 연령이 가지는 값보다 훨씬 큰 값을 가질 가능성이 높다. 따라서 kNN을 사용할 때는 각 속성값들을 표준화하는 것이 좋다. 표준화 하는 방법에는 최소-최대 정규화(min-max normalization)나 z 점수 표준화(z-score standardization)를 사용할 수 있다. 속성  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 를 표준화된 값  $X'$ 로 변환하는 식은 다음과 같다.

$$\text{최소-최대 정규화} : X'_j = \frac{X_j - \min_i(X_i)}{\max_i(X_i) - \min_i(X_i)}, j = 1, 2, \dots, n$$

$$z \text{ 점수 표준화} : X'_j = \frac{X_j - \bar{X}}{S_X}, j = 1, 2, \dots, n$$

z 점수 표준화식에서  $\bar{X}$ 는 속성값들의 평균이고  $S_X$ 는 표준편차를 의미한다.

kNN에서 몇 개의 이웃(즉 k)를 사용할지 결정하는 것도 중요한 문제이다. 너무 적은 이웃을 선택하면 정확성이 떨어지고 너무 많은 이웃을 선택하면 과적합의 위험이 있기 때문에 적당한 이웃을 선택하는 것이 중요하다. k를 선택하는 좋은 방법 중의 하나는 Cross Validation을 이용하는 것이다. 즉, k를 1부터 적당한 수까지 늘여가면서 정확도가 가장 좋은 k를 선택하는 것이다. 이때 다수결에서 동점을 방지하기 위해서 k를 홀수로 선택하는 것이 좋다.

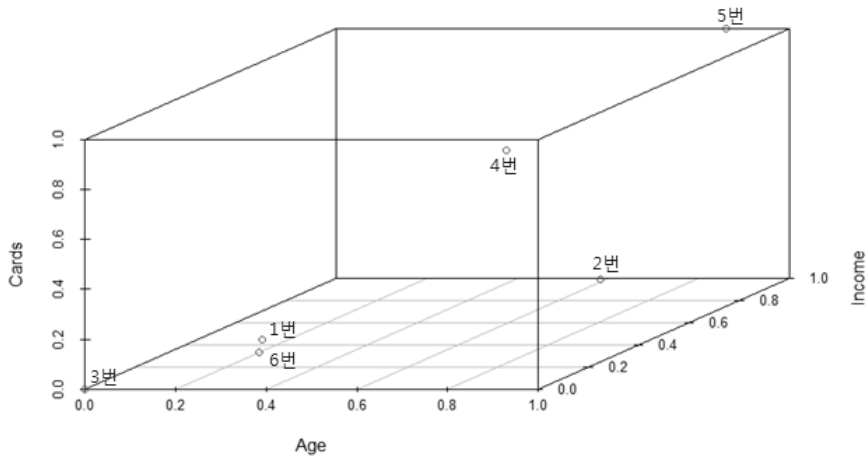
다음 예를 통해서 kNN을 좀 더 구체적으로 설명한다. <표 2>는 어느 마트의 회원 가입여부에 대한 원자료와 표준화된 자료이다.

〈표 2〉 고객별 속성 및 표준화

고객별 속성 및 회원 가입 여부				
고객	나이	수입(만원)	카드 보유수	가입여부
1	30	330	1	Y
2	45	410	3	N
3	25	150	1	N
4	60	250	2	Y
5	55	550	4	Y
6	32	280	1	?
표준화 데이터				
1	0.14	0.45	0.00	Y
2	0.57	0.65	0.67	N
3	0.00	0.00	0.00	N
4	1.00	0.25	0.33	Y
5	0.86	1.00	1.00	Y
6	0.20	0.33	0.00	?

가입여부는 0 또는 1로 표시할 수 있으므로, 나이와 수입을 0에서 1사이의 값을 가지도록 최소-최대 정규화하였다.

6번 고객이 회원가입을 할지 안할지 예측(즉, Y그룹인지 N그룹인지 분류)하고자 한다. 6번 고객과 다른 고객들과의 3차원상에서 상대적 위치는 〈그림 6〉과 같다.



〈그림 6〉 3차원 그래프에서 고객들의 상대적 위치

6번 고객과 다른 고객들과의 Euclidean distance는 다음과 같다.

6-1 고객 거리 = 0.14,    6-2 고객 거리 = 0.83  
6-3 고객 거리 = 0.38,    6-4 고객 거리 = 0.87  
6-5 고객 거리 = 1.37

여기서  $k = 3$  이면, 6번 고객은 1,2,3번 고객과 가깝다. 따라서 1,2,3번 고객 중에 가입하지 않은 고객이 더 많으므로 6번 고객은 가입하지 않을 것으로 분석한다.

### 3.2.5. 의사결정나무(DT, decision tree)

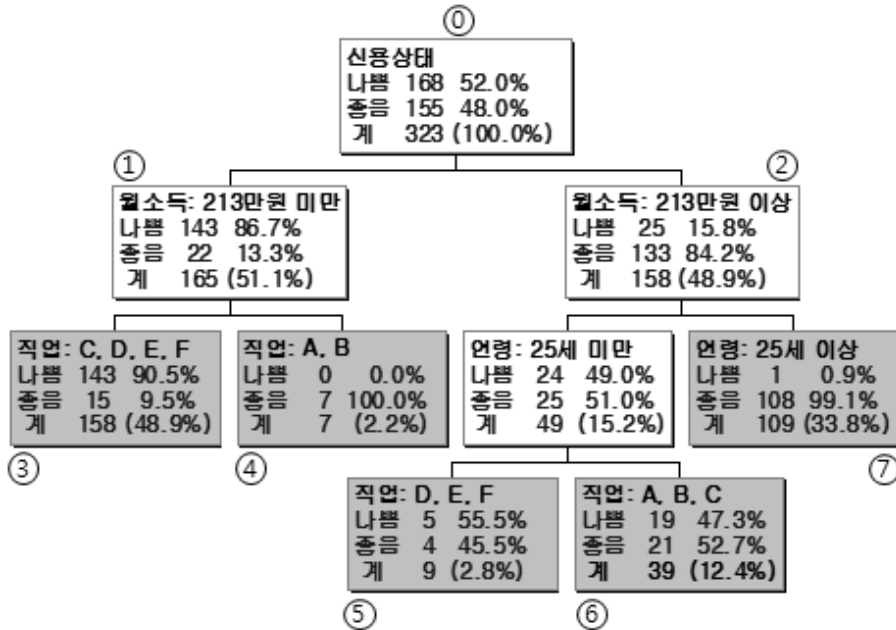
DT는 주로 분류나 예측에 사용되는 기계학습 기법이며 훈련 데이터(training data)에서 데이터의 패턴, 규칙, 관계 등을 이용하여 훈련 데이터 전체에서부터 관계있는 데이터끼리 소그룹으로 나누어 준다. DT에서 사용되는 용어는 다음과 같다.

- 뿌리 노드(root node) : 시작되는 마디로 전체 자료를 포함
- 부모 노드(parent node) : 특정 마디의 위쪽에 존재하는 마디
- 자식 노드(child node) : 특정 마디의 아래쪽에 존재하는 마디
- 잎 노드(leaf node) : 자식마디가 없는 마디
- 가지(branch) : 하나의 마디로부터 끝마디까지 연결된 마디들

훈련 데이터가 뿌리 마디가 되고 데이터가 가진 특정 속성에 따라 분류하면 가지를 형성하고 가지의 끝에 속성별로 나누어진 소그룹에 해당하는 자식 노드들이 있기 때문에 의사결정나무라고 한다.

〈그림 7〉은 어떤 은행의 고객 323명을 대상으로 신용상태가 나쁜지 좋은지를 DT로 구성한 것이다. 제일 위에 위치한 노드가 뿌리 노드(0번 노드)이며 5개의 잎 노드(3,4,5,6,7번 노드)를 가지고 있다.

전체적인 DT의 모습은 나무를 뒤집어 놓은 모습이다. 여기서 323명의 고객은 훈련 데이터이며 고객은 신용상태에 따라 2개의 범주(좋은, 나쁨)으로 구분된다. DT를 구성하는 목적은 어떤 사람의 신용상태가 좋은지 나쁜지를 예측하는 것이다. 따라서 DT의 잎 노드에는 고객의 신용상태에 따라서 그룹화 되어야 한다. DT를 구성하기 위해 먼저, 고객의 신용상태와 관련이 있는 속성들로 월소득, 직업, 연령을 선정하였다.



〈그림 7〉 은행고객의 신용상태 분류

그림에서 보듯이 뿌리 노드에는 신용상태가 좋은 사람과 나쁜 사람이 거의 반반씩 섞여 있다. 즉, 뿌리 노드에서는 어떤 사람이 신용상태가 좋은지 나쁜지를 구분하기가 쉽지 않다. 다음으로 월소득 213만원을 기준으로 분류한 결과 1번, 2번 노드가 생성되었다. 각 노드별 신용상태가 좋은 사람과 나쁜 사람의 비중이 변경된 것을 볼 수 있다. 예를 들어, 1번 노드는 월소득이 213만원 미만인 사람들 165명이며, 이 중에서 13.3%가 신용상태가 좋고 86.7%가 신용상태가 나쁘다. 따라서 이 노드에서는 무작위로 한 명 선택하면 신용상태가 나쁜 확률이 80%가 넘는다는 것이다.

다음으로 월소득 213만원 미만인 그룹을 직업 A,B를 가진 사람들과 직업 C,D,E,F를 가진 사람으로 분류한 결과 3번, 4번 노드가 생성되었다. 그 결과 3번 노드에는 신용상태가 나쁜 사람은 90.5%이고, 좋은 사람은 9.5%이다. 구성된 DT를 해석하면 월소득이 213만원 미만이고 직업이 C,D,E,F 중 하나인 사람은 신용상태가 불량일 확률이 90.5%라는 말이다.

월소득과 직업을 기준으로 두 번의 분류를 한 결과 3번과 4번 노드에는 대부분 한 종류의 신용상태(좋거나 나쁘거나)를 가진 사람들로만 구성된 것을 볼 수 있다. 즉, 각

노드 구성원들의 신용상태에 대한 순도가 높아졌다(또는 불순도가 낮아졌다). DT는 분류를 통해서 잎 노드들의 순도를 높이는 것이 최종 목적이다. 그림에서 5번, 6번 노드는 신용상태가 좋은 사람과 나쁜 사람이 여전히 반반씩 섞여 있기 때문에 순도가 높지 않다. 따라서 순도를 높이기 위해서(또는 불순도를 낮추기 위해서) 추가적인 분류가 필요하다는 것을 의미한다.

각 노드별 순도를 어떤 방법으로 측정하느냐에 따라 DT의 알고리즘이 분류된다. 많이 사용되는 DT 알고리즘은 CHAID(chi-squared automatic interaction detection), CART(classification and regression trees), C4.5 등이 있다. 여기서는 CART와 C4.5 알고리즘에 대해서 설명한다.

CART 알고리즘은 노드별 불순도를 측정하는 도구로 지니지수(Gini index)를 사용하며, 불순도가 감소하는 방향으로 DT를 형성한다. 불순도의 감소를 지니지수의 감소량으로 측정한다.

어떤 노드 P에 전체 관측치가  $n$ 개, 속성의 범주수가  $m$ 개, 각 속성별 관측치가  $n_i$ 개 ( $i = 1, 2, \dots, m, n = \sum_{i=1}^m n_i$ ) 있을 때 해당 노드의 지니 지수는 다음과 같이 계산한다.

$$G_P = 1 - \sum_{i=1}^m \left( \frac{n_i}{n} \right)^2$$

노드 P를 어떤 속성에 의해서 2개의 자식 노드 L, R를 생성했다고 하자. 노드 L에는  $n_L$ 개, 노드 R에는  $n_R$ 개의 관측치로 나누어지고, 각 노드의 지니 지수를  $G_L, G_R$ 이라고 할 때 지니지수 감소량은 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta G = G_P - \left\{ G_L \times \frac{n_L}{n} + G_R \times \frac{n_R}{n} \right\}$$

<그림 7>의 DT를 이용해서 지니지수 감소량을 계산해 보자. 그림에서 뿌리 노드에서 속성은 '월소득 213만원'이었다. 이 경우 노드 0, 1, 2번에 대한 지니지수와 부모 노드로부터 자식 노드로 분류될 때 지니지수 감소량은 다음과 같다.

$$0\text{번 노드 지니지수} : G_0 = 1 - \left( \frac{168}{323} \right)^2 - \left( \frac{155}{323} \right)^2 = 0.499$$

$$1\text{번 노드 지니지수} : G_1 = 1 - \left(\frac{143}{165}\right)^2 - \left(\frac{22}{165}\right)^2 = 0.231$$

$$2\text{번 노드 지니지수} : G_2 = 1 - \left(\frac{25}{158}\right)^2 - \left(\frac{133}{158}\right)^2 = 0.266$$

$$\Delta G : \Delta G = 0.499 - \left\{0.231 \times \frac{165}{323} + 0.266 \times \frac{158}{323}\right\} = 0.251$$

따라서 여러 가지 분류 기준 중에서  $\Delta G$ 를 크게 하는 속성이 좋은 분류 기준이다.

C4.5 알고리즘은 CART 알고리즘과 동일하지만 불순도를 측정하는 도구로 지니지수 대신에 다음과 같은 엔트로피(entropy)를 사용한다.

$$E_P = - \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{n_i}{n} \times \log_2 \left( \frac{n_i}{n} \right) \right\}$$

C4.5 와 CART 알고리즘은 잎 노드의 불순도가 0이 될 때까지 DT를 생성할 수 있다. 하지만, 지나치게 많은 마디를 갖는 DT는 과적합의 문제를 야기한다. 과적합된 DT는 새로운 입력 자료에 대한 분류 또는 예측 오차를 현저하게 증가시키는 경향이 있다. 따라서 DT가 적절한 수의 마디를 가질 수 있도록 마디 생성을 제한하거나 지나치게 많이 생성된 마디를 제거하여야 한다. 전자를 정지규칙(stopping rule)이라고 하고, 후자를 가지치기(pruning)이라고 한다.

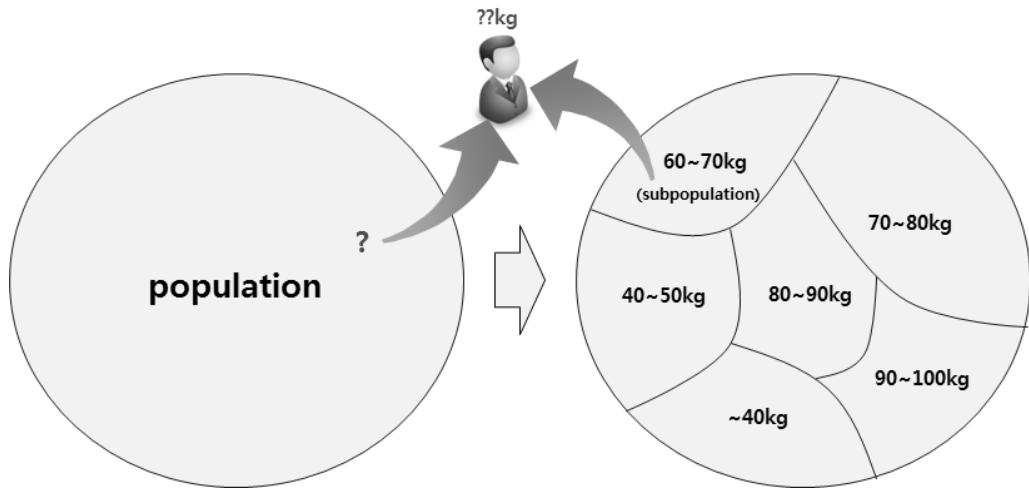
단순한 정지규칙은 마디에 1개의 관측치만 있거나 마디를 구성하는 관측치들이 동일한 특성을 가질 때 더 이상의 분류를 멈추는 것이다. 하지만 이러한 정지규칙은 DT를 과적합시킬 경향이 있다. 따라서 최적의 시점에 더 이상의 분류가 일어나지 않도록 정지규칙을 설정해야 한다. 대표적인 정지규칙이 가지의 마디수를 제한하거나 마디에 포함되는 관측치의 수를 제한하는 방법이 있다. 하지만 이러한 정지규칙은 데이터의 특성에 따라 다양하게 결정되기 때문에 반복 실험을 통해서 적절한 정지규칙을 결정해야 한다.

DT가 지나치게 많은 마디를 가지는 경우에도 과적합의 문제가 발생한다. 이러한 경우에는 적절하지 않은 마디를 제거하여 적당한 크기의 DT를 가질 수 있도록 가지치기를 하여야 한다. 가지치기 또한 어떠한 방법으로 해야 한다는 규칙은 없다. 따라서 데이터의 특성과 DT의 분석결과를 이용하여 효과적인 분석 또는 예측을 할 수 있는 수준에서 가지치기를 하여야 한다.

### 3.2.6. 회귀분석

회귀분석은 예측하고자 하는 변수(종속변수)와 예측에 필요한 정보들(설명변수)간의 관계를 수학적으로 모델링한 것이다. 예를 들어, 대한민국의 40대 남성 중에서 임의로 한 명을 선정하고 이 남성의 키를 예측한다고 하자. 우리가 대한민국 40대 남성의 평균키를 안다면 평균키를 예측치로 제시하는게 임의의 값을 예측치로 제시하는 것보다 더 정확할 것이다.

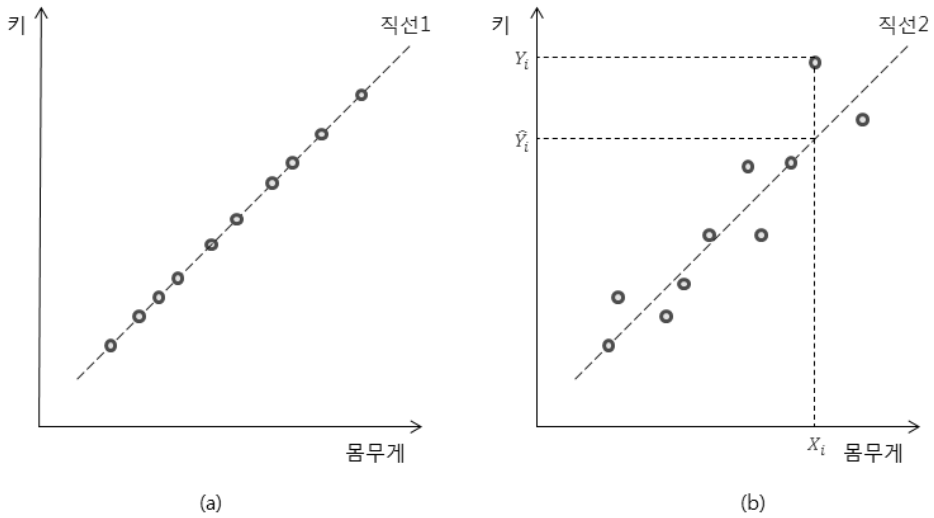
우리는 경험적으로 키가 몸무게와 상당한 비례관계가 있다는 것을 알고 있다. 따라서 임의로 선정된 사람의 몸무게라는 추가적인 정보를 안다고 가정하자(예를 들어, 65kg). 그러면 <그림 8>과 같이 대한민국 40대 남성의 모집단(population)을 몸무게별로 하부모집단(subpopulation)으로 나누고 몸무게가 60~70kg인 남성중에서 한 명을 임의로 선정했을 때 키를 예측하는 문제로 바뀐다.



<그림 8> 모집단의 세분화

이번에는 대한민국 40대 남성 전체의 평균키보다 40대 남성 중에서 몸무게가 60~70kg인 사람의 평균키를 제시하는 것이 더 정확한 예측치가 될 것이다.

이번에는 <그림 9>를 대한민국 40대 남성들의 (몸무게, 키)의 좌표를 2차원 공간에 표시한 그래프라고 하자(설명하기 쉽도록 10명만 있다고 가정하였다).



〈그림 9〉 키-몸무게 그래프

〈그림 9(a)〉처럼 대한민국 40대 남성의 키와 몸무게가 정확히 비례관계에 있다면 10개의 점을 모두 통과하는 직선1을 찾을 수 있고, 따라서 몸무게를 알면 키를 정확하게 예측할 수 있다. 하지만 일반적으로 〈그림 9(b)〉와 같이 키와 몸무게는 정확한 비례관계에 있지 않다. 이 경우 키와 몸무게의 관계를 가장 근사하게 표현해 줄 수 있는 직선2를 찾는 과정이 회귀분석이다. 〈그림 9〉의 직선2와 같이 데이터들의 상관관계를 가장 잘 적합해 주는 직선을 찾는 방법으로 주로 최소자승법(least squares)이 많이 사용된다. 최소자승법으로 구한 직선을 추정식이라고 한다.

최소자승법으로 추정식을 구하는 방법은 다음과 같다. 〈그림 9(b)〉에 주어진 자료를 보면 몸무게  $X_i$  인 사람의 키는  $Y_i$  이다. 키와 몸무게의 상관관계를 추정하는 식이 직선2와 같다면 몸무게  $X_i$  인 사람의 키는  $\hat{Y}_i$  로 추정할 것이다. 그러면 실제값과 추정값 사이에는  $|Y_i - \hat{Y}_i|$  만큼의 오차가 발생한다. 이러한 오차를 잔차(residual)이라고 한다. 찾고자 하는 추정식을  $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$  라고 한다면 최소자승법은 잔차들의 제곱합이 최소가 되도록 절편( $\beta_0$ )과 기울기( $\beta_1$ )를 추정하는 것이다. 즉, 다음과 같이 잔차들의 제곱합을 편미분하여 구한다.

$$Q = \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{Y}_i]^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i]^2$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i] = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i] X_i = 0$$

위에 주어진 방정식을 계산하면 다음과 같이 절편과 기울기의 추정값(보통  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$  이라고 쓴다)을 구할 수 있다. 식에서  $\bar{X}, \bar{Y}$  는 몸무게와 키의 평균을 의미한다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

회귀분석에서 키와 같이 예측하고자 하는 변수를 반응변수(또는 종속변수)라고 하고 몸무게와 같이 키를 예측하기 위해서 사용되는 정보를 설명변수(또는 독립변수)라고 한다. 지금까지는 하나의 설명변수(몸무게)로 키를 예측하였다. 하지만 같은 몸무게라도 비만인 사람은 키가 작고, 그렇지 않은 사람은 상대적으로 키가 더 크기 때문에 비만을 측정할 수 있는 정보가 하나 더 있으면 좀 더 정확하게 키를 예측할 수 있을 것이다. 그래서 허리둘레라는 설명변수를 하나 더 넣어서 회귀분석을 할 수도 있다. 설명변수가 하나뿐인 회귀분석을 단순회귀분석(simple linear regression)이라 하고 2개 이상인 경우를 다중회귀분석(multiple linear regression)이라고 한다.

다중회귀분석의 추정식도 최소자승법으로 구할 수 있으며, 변수의 개수가 많기 때문에 계산의 효율성을 위해서 매트릭스를 이용하여 계산한다. 설명변수가  $k$  개 있을 때, 최소화 시킬 잔차 제곱합을 다음과 같이 정의한다.

$$Q = \sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{Y}_i]^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}]^2$$

단순회귀분석에서와 마찬가지로  $Q$ 를 각  $\beta_j (j=0,1,\dots,k)$ 에 대해서 편미분하고 이를

0으로 하는 연립방정식을 이용한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial \beta_0} &= -2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}] = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial \beta_1} &= -2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}] X_{1i} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial Q}{\partial \beta_k} &= -2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}] X_{ki} = 0 \end{aligned}$$

위의 연립방정식을 다음과 같은 매트릭스 형태로 표현하여 계산하면 편리하다.

$$(X'X)\beta = X'Y$$

여기서  $(X'X)$ ,  $\beta$ ,  $X'$ ,  $Y$  가 의미하는 바는 다음과 같다.

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum X_{1i} & \dots & \sum X_{ki} \\ \sum X_{1i} & \sum X_{1i}^2 & \dots & \sum X_{1i}X_{ki} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum X_{ki} & \sum X_{1i}X_{ki} & \dots & \sum X_{ki}^2 \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

$$X' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{k1} & X_{k2} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$$

따라서  $\beta$  의 최소자승법에 의한 해는 다음과 같다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$$

## 4. 국방분야 기계학습 연구 사례

데이터의 폭발적인 증가와 함께 맞이한 빅데이터 시대는 기계학습의 중요성을 부각시키고 있으며, 이는 공공부분, 제조업, 의료, 금융, 재난 관리, 국방 분야 등 다양한 분야에서 광범위하게 적용되고 있다. 우리 군도 창조국방과 연계하여 국방부 정보화기

획관실 주관으로 다양한 빅데이터 사업을 추진하고 있다. 하지만 아직까지는 빅데이터에 기계학습을 적용한 가시적인 성과가 없는 실정이다. 따라서 이번 장에서는 저자의 연구실에서 국방분야에 적용한 기계학습 연구사례 2가지를 소개하고자 한다.

첫 번째 사례는 의사결정나무를 활용하여 병 사고예측 모델을 개발(윤승진 외, 2015)한 것이고, 두 번째 사례를 로지스틱 회귀분석(Logistic Regression),<sup>1)</sup> 무작위 숲(Random Forest)<sup>2)</sup>를 활용하여 비행조종 적성검사 항목의 적절성을 분석(김희영 외, 2016)한 것이다.

#### 4.1. 의사결정나무를 활용한 병 사고예측 모델 개발

우리나라 안보상황의 특성 때문에 군은 상시 최상의 전투태세를 유지하는 것이 필수적이다. 하지만 예상치 못한 군내 비전투 손실은 해당 부대의 전투태세 유지에 악영향을 미치는 것은 물론이고 사고 처리를 위해 전투태세 유지와는 무관하게 많은 시간과 노력을 투자해야만 한다. 따라서 비전투 손실을 미연에 방지할 수 있도록 사고를 어느 정도 예측할 수 있다면 지휘관의 부대 운영에 상당한 도움이 될 것이다. 따라서 기계학습의 기능 중에서 예측을 활용한다.

예측과 관련된 기계학습 방법으로 회귀분석, 시계열분석, ANN, DT 등이 있다. 사고예측 모델에는 주로 범주형 변수를 사용하여야 하므로 이들 변수들에 잘 작동하는 DT를 활용한다. 사고예측 모델은 부대에서 쉽게 획득할 수 있는 내무생활 자료와 스마트폰 시대의 도래와 더불어 발전한 소셜 네트워크 서비스(SNS, social network service)에 담긴 텍스트 자료를 활용하여 사고 예측을 위해 DT를 활용하였다. DT를 활용하는 사고예측모형 구성 절차를 세부단계별로 나타내면 <그림 10>과 같다.

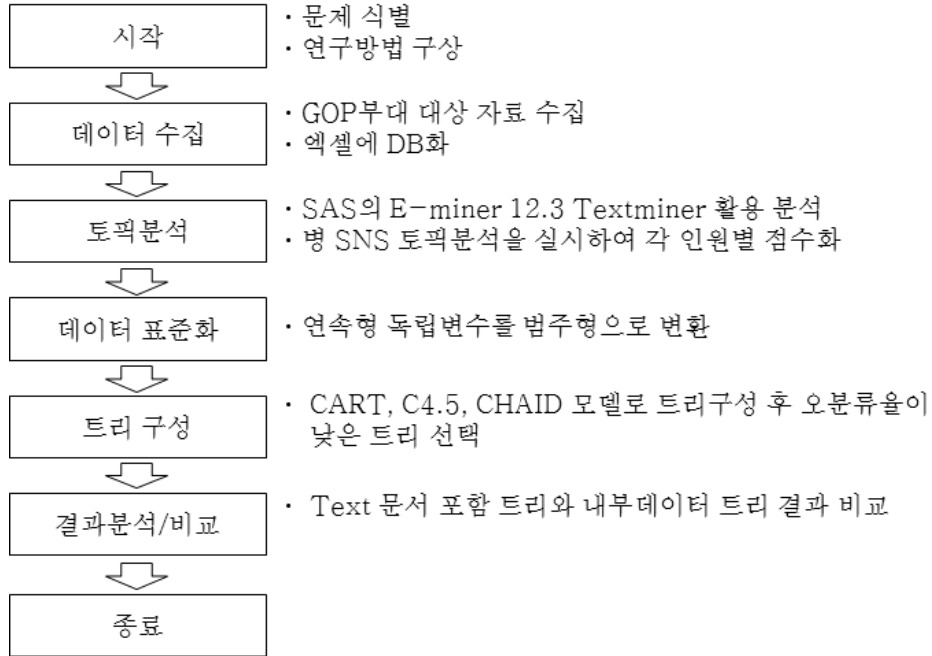
##### 4.1.1. 문제 식별 및 연구방법

군 부대는 그 유형에 따라 다양한 근무 환경과 특성을 가지기 때문에 모든 부대에 적용 가능한 범용적인 모델을 개발하는데 한계가 있고 또한 현 안보상황과 관련하여

1) 설명변수가 이진 변수(0 또는 1)를 가질 때 수행하는 회귀분석 방법의 일종이다.

2) 동일한 데이터에서 무작위로 여러개의 의사결정나무를 만들고 다수결의 방법으로 분류 또는 예측하는 모델이다.

GOP 부대에서 사고 발생 시 전투태세에 치명적인 영향을 미치기 때문에 GOP 부대를 대상으로 한 사고예측 모델로 한정하였다.



〈그림 10〉 사고예측모형 순서도

#### 4.1.2. 데이터 수집

전방 4개 사단의 GOP 부대원들 중에서 무작위로 350명의 병사에 대한 생활지도기록부 자료와 SNS(Facebook) 자료를 획득하여 엑셀에 DB를 구축하였다. 각 사단별 사고자가 약 18%정도 포함될 수 있도록 자료를 수집하였으며, 모든 자료는 익명으로 처리하여 개인정보 보호에 문제가 되지 않도록 하였다.

생활지도기록부에서 수집한 자료는 신인성검사 적성 적응도 척도(강인성, 탐구성, 창의성, 배려성, 주도성, 성실성), 나이, 체력, 종교, 교육훈련, 내무생활, 키, 몸무게, 부모 생존 유무, 형제자매 등 15개를 수집하였다. 또한, 350명에 대한 SNS글 약 2만여 건을 수집하여 엑셀에 DB화 하여 정리하였다.

### 4.1.3. 토픽분석

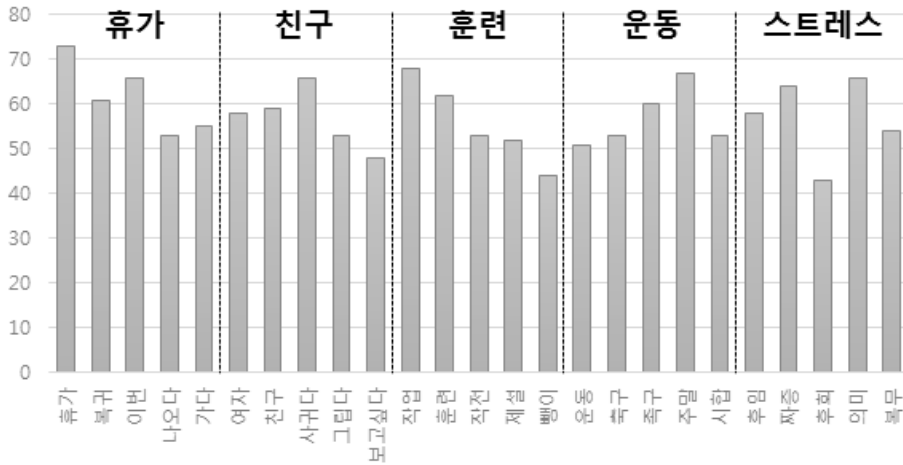
SNS자료는 비정형인 텍스트 데이터이기 때문에 의사결정나무에 변수로 사용할 수 있도록 전처리 과정을 통해서 텍스트의 형태소 분석, 의미정보 변환 및 키워드 추출을 하였다. 키워드별 가중치로 TF-IDF<sup>3)</sup>를 사용하여 토픽분석에 필요한 중요 키워드 250개를 추출하였다. <표 3>에 추출된 키워드별 빈도 및 TF-IDF 값의 예를 제시하였다.

<표 3> 키워드별 빈도 및 TF-IDF(예)

번호	키워드	빈도	TF-IDF
1	휴가	73	4.283
2	시간	58	5.678
3	친구	59	5.789
4	사람	47	5.909
5	여자	55	6.040
6	보고 싶다	48	6.040
7	나오다	53	6.111
8	좋다	63	6.185
9	복귀	61	6.345
10	운동	51	6.433
∴	∴	∴	∴

토픽분석 시 제약사항으로 전체 토픽의 수를 10개로 하였으며, 토픽별 키워드의 수는 5개 미만으로 하여 상위 5개의 토픽을 식별하였다. 식별된 5개의 토픽에 대한 토픽명으로 휴가, 친구, 훈련, 운동, 스트레스를 부여하였다. 5개의 토픽과 토픽별 식별된 키워드와 이에 대한 빈도는 <그림 11>에 나타나 있다.

3) Term Frequency-Inverse Document Frequency의 약자이며 여러 문서로 이루어진 문서군이 있을 때 어떤 단어가 특정 문서내에서 얼마나 중요한 것인지를 나타내는 수치이다.



〈그림 11〉 SNS 토픽 및 토픽별 키워드의 빈도수

토픽분석의 결과는 병사들이 휴가와 친구들에 관심이 많았으며 작전, 훈련, 작업 및 이와 관련된 스트레스를 많이 언급하고 있는 것을 알 수 있다. 이들 자료는 지휘관이 일대일 면담 시에도 얻기 어려운 자료이기에 그 의미가 있다.

이렇게 분석된 토픽이 병사들의 SNS 데이트에서 언급되는 횟수를 DT의 변수로 사용하면 된다. 다만, 횟수를 그대로 사용할 경우 SNS를 많이 사용하는 병사와 그렇지 않은 병사 간에 횟수 자체로는 비교가 어렵기 때문에 개인별 전체 토픽수에서 각 토픽의 비율을 변수로 사용하였다.

#### 4.1.4. 데이터 표준화

생활지도기록부의 자료와 SNS자료에는 연속형 변수<sup>4)</sup>와 범주형 변수<sup>5)</sup>가 혼합되어 있다. 사고예측 모델은 출력값이 연속형<sup>6)</sup>이 아닌 사고의 유무인 범주형 변수이다. 따라서 입력변수들도 범주형 변수로 변환하여 사용하는 것이 결과를 더 명확히 할 수 있다. DT 구성에 사용될 범주형 변수들을 <표 4>에 제시하였다.

4) 변수가 취할 수 있는 값이 실수구간의 모든 값이 될 수 있는 경우이다. 예를 들어, 키, 몸무게, 혈압 등이다.

5) 변수가 취할 수 있는 값이 범주(category)로 주어지는 경우이다. 예를 들어, 성별(남, 여), 종교(기독교, 천주교, 불교, 기타), 부모 형태(양부모, 편모, 편부, 기타)등이다.

6) 의사결정나무에서 출력값이 연속형인 경우를 회귀나무(regression tree)라고도 한다.

〈표 4〉 데이터 표준화 결과

변수	분류기준		변수	분류 기준		
	평균 이하(0)	평균 이상(1)		저조 (0)	보통 (1)	우수 (2)
나이	≤ 21	≥ 22	교육훈련	< 70	[70,90]	> 90
체력	≤ 21	≥ 22	내무생활	< 70	[70,90]	> 90
종교	무교	그 외	강인성	< 40	[40,50]	> 50
키	≤ 175	> 175	탐구성			
몸무게	≤ 65	> 65	창의성			
부모	편부모	그 외	배려성			
형제	독자	그 외	주도성			
육	없음	있음	성실성	< 20	[20,30]	> 30
SNS글수	≤ 45	> 45	토픽(휴가)			
친구수	≤ 383	> 383	토픽(친구)			
			토픽(훈련)			
			토픽(운동)			
			토픽(스트레스)			

나이와 체력은 병사들의 평균 입대 나이 및 체력을 기준으로 분류하였고, 종교는 무교인 병사와 종교를 가진 병사로 구분하였다. 부모는 편부모 및 부모가 없는 병사와 부모 모두 생존한 병사로 구분하였다. SNS글에 육의 유무, 글자수, 친구수 등에 대해서도 분류하였다.

교육훈련, 내무생활, 신인성검사, 토픽분석 결과는 3가지로 범주화(저조, 보통, 우수)하였다. 신인성검사 점수(강인성, 탐구성, 창의성, 배려성, 주도성, 성실성)는 KIDA의 매뉴얼(KIDA, 2012)을 참고하여 분류하였으며, 토픽분석의 범주는 사분위수를 기준으로 분류하였다.

#### 4.1.5. 의사결정나무 구성

DT는 SNS데이터를 포함하지 않았을 때와 포함하였을 때를 구분하여 실험을 하였다. 총 350명의 데이터 중에서 80% 정도인 279명의 데이터를 훈련용 데이터(training data)로 하여 DT를 구성하였고, 나머지 71명의 검증용 데이터(validation data)를 구성된 DT를 검증하는데 사용하였다.

DT 구성 시 사용된 알고리즘은 CART(지니지수 사용), C4.5(엔트로피 사용), CHAID(카이제곱 통계량 사용)이며 이 중에서 오분류율이 가장 낮은 알고리즘을 선택하였다.

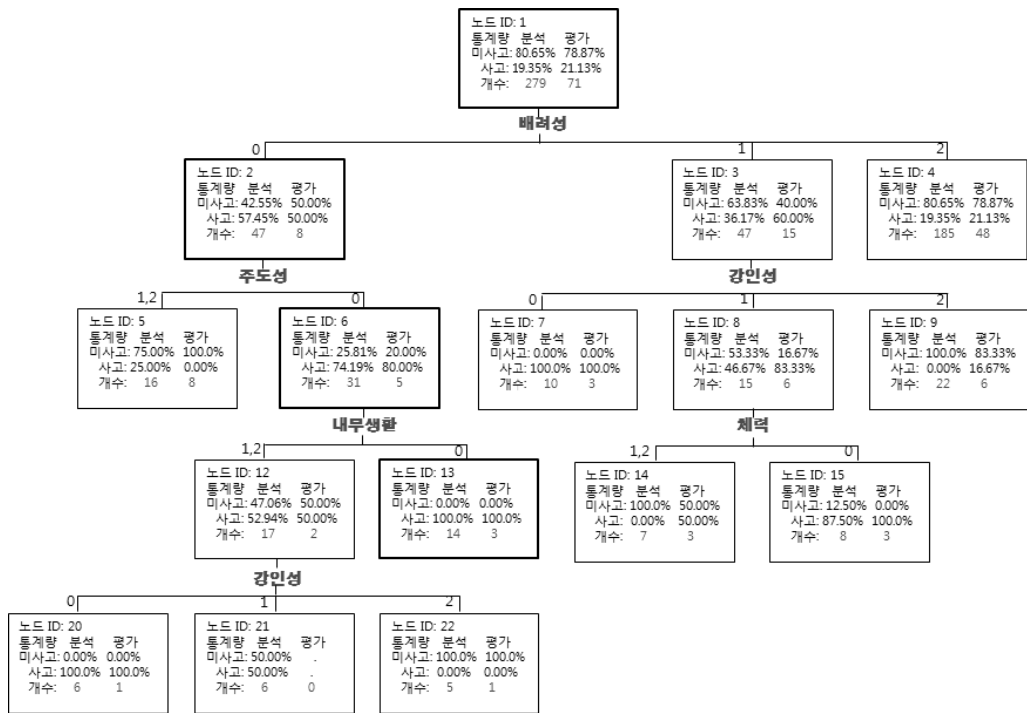
#### 4.1.5.1. SNS데이터를 미포함한 의사결정나무

3가지 알고리즘을 적용하여 구성된 DT에 대한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> SNS데이터를 미포함한 모형별 오분류율

구분	CHAID		CART		C4.5	
	훈련	검증	훈련	검증	훈련	검증
오분류율	12.1%	11.5%	13.5%	13.3%	13.5%	13.2%

<표 5>에 나타난 바와 같이 CHAID 알고리즘을 사용한 DT의 오분류율이 다른 알고리즘에 비해서 더 낮았다. CHAID 알고리즘에 의한 DT 구성 결과는 <그림 12>와 같다.



<그림 12> SNS 데이터를 미포함한 의사결정나무

7) 사고자를 비사고자로 비사고자를 사고자로 잘 못 분류하는 것을 의미한다.

〈그림 12〉의 DT를 활용하는 방법은 다음과 같다. 예를 들어, 굵은 실선으로 표시된 노드들을 따라가면 마지막 노드는 배려성, 주도성, 내무생활이 모두 저조(0)한 병사를 의미한다. 해당 노드에 훈련용 데이터에서 14명이 분류되었고, 검증용 데이터에서 3명이 분류되었는데 이들 모두는 사고자였다. 따라서 향후 전입신병의 내무생활과 신인성 검사의 결과가 이런 유형이라면 사고가능성이 높은 것으로 예측하고 집중관리를 하면 될 것이다.

#### 4.1.5.2. SNS데이터를 포함한 의사결정나무

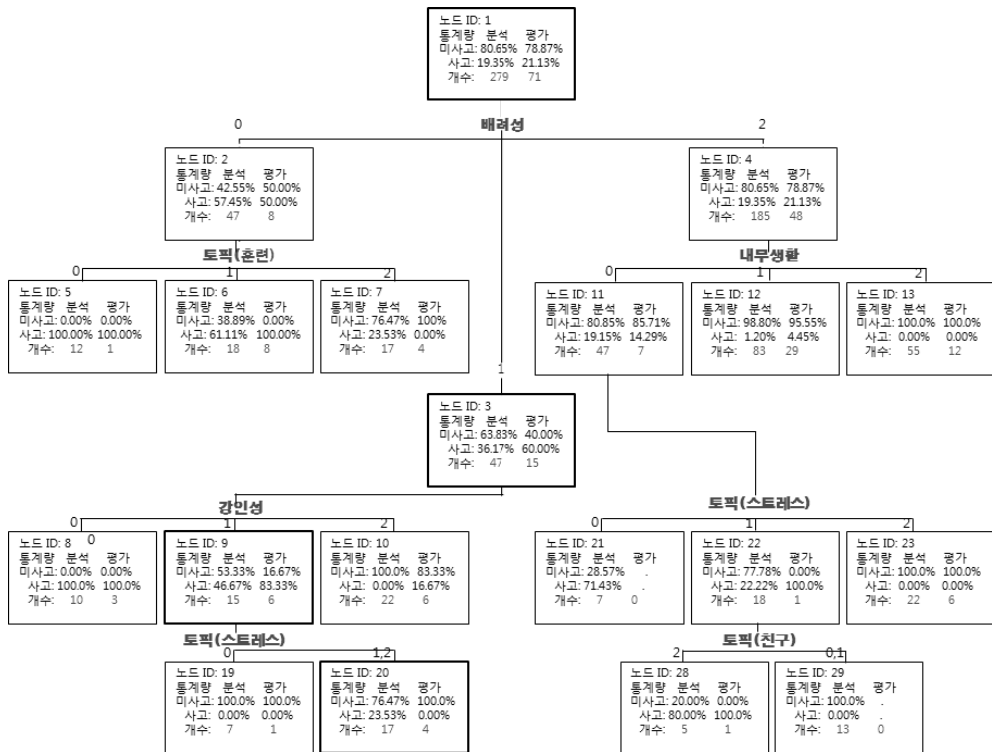
이번에는 앞서 분석한 변수들 외에 SNS데이터를 포함하여 DT를 구성하였다. 앞서 사용한 3가지 알고리즘을 적용하여 구성된 DT에 대한 결과는 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 SNS데이터를 포함한 모형별 오분류율

구분	CHAID		CART		C4.5	
	훈련	검증	훈련	검증	훈련	검증
오분류율	9.3%	10.1%	9.3%	10.2%	7.8%	8.3%

〈표 6〉에 나타난 바와 같이 3가지 알고리즘 모두 SNS데이터를 미포함 했을 때 보다 오분류율이 평균 5% 정도 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이는 SNS데이터가 사고예측 모델의 정확성을 향상시키는데 영향을 미친다는 것을 의미한다. SNS데이터를 포함 했을 때는 C4.5 알고리즘을 사용한 DT의 오분류율이 다른 알고리즘에 비해서 더 낮았다. 이는 데이터의 특성에 따라서 알고리즘의 결과가 달라진다는 것을 의미하며 주어진 데이터에 가장 적합한 알고리즘은 실험을 통해서 찾아야 한다. C4.5 알고리즘에 의한 DT 구성 결과는 〈그림 13〉과 같다.

〈그림 13〉의 DT를 활용하는 방법을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 굵은 실선으로 표시된 노드들을 따라가면 마지막 노드는 배려성, 강인성이 보통(1)이고 SNS에서 스트레스와 관련된 단어들을 보통(1)이상으로 언급하는 병사들이다. 훈련용 데이터에서 17명이 분류되었고 이 중에서 약 75%가 미사고자였으며, 검증용 데이터에서는 4명이 분류되었고 이들 모두 미사고자였다. 따라서 향후 이러한 특징을 가지는 병사는 사고가능성은 어느 정도 있지만 크게 높지 않다고 예측할 수 있다.



〈그림 13〉 SNS 데이터를 포함한 의사결정나무

## 4.2. 비행교육과정의 조종적성검사 항목 타당성 분석

한국 공군은 매년 조종적성검사를 통과한 인원들에 대해서 비행교육과정의 입문과정에 입과 시키고 있다. 항공기는 첨단과학기술의 집약체이며 항공기 조종석에는 다양한 기계식 및 전자식 장비들이 있다. 따라서 조종적성검사는 어떠한 상황에서도 조종석 내부에 장착된 각종 기기들을 올바르게 작동시킬 수 있는 가를 식별할 수 있도록 이루어져야 한다.

부적절한 조종적성검사는 비행교육과정 중에 중도 탈락자를 대거 배출할 수 있으며 이는 개인적이나 국가적으로 큰 시간적 경제적 손실을 초래한다. 따라서 본 연구는 현재 공군에서 사용 중인 조종적성검사 항목과 연구자가 제시하는 추가적인 항목들이 조종후보생들의 수료여부와 어떤 관계가 있는지를 다양한 기계학습 방법들(로지스틱 회귀분석, SCAD 벌점 회귀분석, DT, 무작위 숲)을 사용하여 분석하였다.

#### 4.2.1. 분석 대상 자료

연구에 사용된 데이터는 2012년부터 2014년까지 공군 비행교육 과정에 입과한 372명에 대한 자료를 익명으로 수집하였다. 또한, 현재 사용 중인 공군의 조종검사 항목과 조종검사 항목 대상 후보들을 수집하였다. <표 7>은 현재 공군에서 사용 중인 조종적성검사 항목들이고 <표 8>은 본 연구에 추가 투입된 항목들이다.

<표 7> 한국 공군의 조종적성검사 항목

Variables	Index	Explanation
Table Reading	X1	Ability to read tables quickly and accurately
Electrical Maze	X2	Ability to choose a correct path from among several choices
Scale Reading	X3	Ability to read scales, dials, and meters
Mechanical Principle	X4	Ability to learn and reason with mechanical terms
Instrument Reading	X5	Ability to determine the position of an airplane in flight from reading instruments
Simulated Flight	X6	Ability to conduct flight procedures and required operation

모든 항목의 결과는 연속형 변수이며 모의비행검사(X6)를 제외하고는 모두 지필지각 검사이다. 원래는 '토막수 세기'라는 측정 항목이 있었으나 2004년에 제외되었었는데 연구목적으로는 지속적으로 측정되고 있었기 때문에 본 연구의 연구자 추가항목에 포함하였다.

〈표 8〉 연구에 추가 투입된 조종적성검사 항목

Variables	Index	Explanation
Block Counting	X7	Ability to determine how many pieces are touched by certain numbered blocks
Education Rating	X8	Average rating of credit courses
Life/Training Rating	X9	Average rating of military training
Overall Rating	X10	Overall rating of X8 and X9
Gender	X11	Female or Male
Major Field	X12	Humanity or Natural
Aeronautical Engineering	X13	The others or Aeronautical Engineering
Energy	X14	Introversion or Extraversion
Information	X15	Intuition or Sensing
Decision	X16	Feeling or Thinking
Lifestyle	X17	Perception or Judging
3Km Running	X18	Divided into three categories due to physical abilities of men and women
Sit-up	X19	
Push-up	X20	

〈표 8〉에서 X7 이 ‘토막수 세기’이며, X8부터 X10까지는 개인의 학업성과 관련된 항목들이고, X13은 항공공학 전공여부를 나타내는 항목이다. X14부터 X17까지는 MBTI의 성격유형검사 결과이며 X18부터 X20까지는 체력관련 항목들이다. X7부터 X10까지는 연속형 변수이고 나머지는 범주형 변수들이다. 반응변수는 비행교육과정의 입문과정(training course), 기본과정(basic course), 고등과정(advanced course) 각 단계별 수료여부이다.

#### 4.2.2. 기존 조종적성검사 항목만 포함한 모형

조종적성검사 항목들 간에 관련성을 확인하기 위해 피어슨 상관관계 분석을 하였다. 피어슨 상관관계는 연속형인 두 변수 중 한 쪽이 증가 또는 감소함에 따라 다른 한 쪽의 변수가 같이 증가 또는 감소하는지 아닌지의 정도를 측정하는 것이다. 즉, 상관관계가 높다는 것은 두 변수 중에서 하나는 불필요하다는 것을 암시한다. 각각 n개의 관측

치를 가지는 두 변수 X와 Y에 대한 피어슨 상관관계(r)은 다음과 같다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

기존 조종적성검사 항목과 추가된 항목 중에서 연속형 변수에 대한 피어슨 상관관계 분석결과는 <표 9>와 같았다.

기존 조종적성검사 항목(X1~X6) 중에서 X2와 X4의 상관관계가 0.41로 보통이었으며 나머지 변수들은 모두 약한 상관관계를 나타낸다. 따라서 기존 조종적성검사 항목 모두를 설명변수로 사용하였다. 연구에 추가 투입된 항목 중에서 X8, X9는 학업성적 과 군사성적을 나타내고 X10은 이들의 종합 성적이므로 당연히 X8-X10, X9-X10은 높은 상관관계를 보이고 있다.

<표 9> 연속형 변수의 피어슨 상관관계 분석

X1	.26 ***	.27 ***	.20 ***	.19 ***	.18 ***	.31 ***	.06	.06	.07
	X2	.27 ***	.41 ***	.18 ***	.24 ***	.27 ***	.00	.09	.03
		X3	.29 ***	.19 ***	.12 *	.31 ***	.00	.03	.01
			X4	.25 ***	.30 ***	.35 ***	.00	.02	.01
				X5	.11 *	.15 **	-.01	.07	.02
					X6	.16 **	-.02	.11 *	.03
						X7	.05	.05	.06
							X8	.39 ***	.95 ***
								X9	.65 ***
									X10

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ (이하 동일)

다음으로 각 설명변수들이 중도 탈락집단과 수료집단간의 차이를 설명해 줄 수 있는지를 t-검정한 결과 <표 10>와 같았다.

<표 10>에 나타난 바와 같이 입문과정에서는 모든 변수들이 유의한 변수로 나타났는데 기본과정에서는 3개 변수만 유의한 것으로 나타났고 고등과정에서는 하나의 변수도 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 현재의 조종적성검사 항목이 입문과정위주로 설계되어 있다는 것을 보여주는 증거이므로 기본과정과 고등과정을 아우를 수 있는 조종적성검사 항목 설계가 필요하다.

<표 10> 기존 조종적성검사 항목의 t-검정 결과

Group		Fail		Pass		t-value
		mean	sd	mean	sd	
Training Course	X1	27.7	5.6	31.3	5.7	-3.57***
	X2	5.7	3.1	8.1	3.3	-4.31***
	X3	22.3	5.0	24.3	4.6	-2.25*
	X4	10.7	3.4	12.2	3.2	-2.58*
	X5	10.1	3.9	12.6	3.4	-3.64***
	X6	39.0	19.1	48.8	18.5	-2.90**
Basic Course	X1	30.2	5.8	31.7	5.6	-2.14*
	X5	12.0	3.5	12.9	3.4	-2.16*
	X6	45.2	18.3	50.1	18.4	-2.15*
Overall Course	X1	29.9	5.9	31.7	5.7	-3.04**
	X2	7.2	3.3	8.4	3.3	-3.41***
	X5	11.6	3.8	13.0	3.3	-3.88***
	X6	44.2	18.5	50.4	18.5	-3.16**

<표 11>은 기존 조종적성검사를 설명변수로 한 4가지 기계학습 알고리즘에 대한 결과이다.

SCAD 모형이 모든 교육과정에서 가장 높은 정확성(accuracy)을 가지므로, SCAD 모형을 기준으로 선택된 변수에 대해서 설명한다. 거의 모든 과정에서 수표해독(X1), 전기미로(X2), 계기판독(X5), 모의비행검사(X6)가 수료여부를 예측하는데 중요한 변수로 선택되었다. 특히, 고등과정을 제외하고 모든 과정에서 모의비행검사(X6)가 중요변

수로 선택되었는데 이는 기존 연구(이상현 외, 2007) 및 일반적인 상식과도 일맥상통한 것이라 생각된다.

〈표 11〉 모형별 정확도 및 변수 선택 결과

Group		Accuracy(sd) <sup>8)</sup>	Selected Variables
Training Course	LOG	88.9(0.031)	X1, X2, X5, X6
	SCAD	<b>90.7(0.045)</b>	<b>X1, X2, X5, X6</b>
	DT	88.3(0.022)	X1, X2, X3, X5, X6
	RF	87.8(0.021)	X6 > <sup>9)</sup> X4
Basic Course	LOG	69.2(0.043)	X1, X4, X5, X6
	SCAD	<b>72.4(0.077)</b>	<b>X1, X5, X6</b>
	DT	67.6(0.055)	X1, X2, X3, X5, X6
	RF	69.0(0.045)	X6 > X4
Advanced Course	LOG	78.4(0.236)	X2
	SCAD	<b>88.4(0.057)</b>	<b>X2, X5</b>
	DT	85.9(0.045)	X1, X2, X3, X4, X6
	RF	87.9(0.009)	X6 > X2
Overall Course	LOG	60.8(0.069)	X1, X2, X5, X6
	SCAD	<b>66.2(0.070)</b>	<b>X1, X2, X5, X6</b>
	DT	58.2(0.061)	X1, X2, X5, X6
	RF	59.6(0.061)	X6 > X4

※ LOG(logistic regression), SCAD(SCAD penalized regression), RF(random forest)

반면에 척도판독(X3), 기계원리(X4)는 모든 교육과정의 중요변수에서 제외되었다. 척도판독(X3)은 항공기의 계기 판독을 얼마나 잘 할 수 있는 지를 측정하는 것인데, 실제 항공기에서 요구되는 수준보다 어려운 고난도의 문제가 출제가 되기 때문에 변별력을 잃은 것으로 생각된다. 기계원리(X4)는 기존연구(최성옥 외(2001), 손소영 외(2002))에서는 중요한 변수로 선택되었는데 이번 연구에서는 제외된 것으로 볼 때 2004년도

8) 10-fold cross validation을 하여 Accuracy는 수료 인원을 수료로 또는 미수로 인원을 미수로 정확히 구분한 평균 비율을 의미하며, sd 는 표준편차를 의미한다.

9) 부등호(>) 왼쪽 항목은 노드불순도 개선에 기여도가 가장 높은 항목이고 오른쪽은 가장 낮은 항목이다.

에 문제가 전면 개정되면서 문제가 있었는지 재검토할 필요가 있다.

#### 4.2.3. 추가 조종적성검사 항목을 포함한 모형

먼저 연구간 추가된 연속형 설명변수들 중에서 중도 탈락집단과 수료집단간의 차이를 잘 설명해 줄 수 있는지를 t-검정한 결과는 <표 12>와 같다.

<표 12> 추가된 연속형 조종적성검사 항목의 t-검정 결과

Group		Fail		Pass		t-value
		mean	sd	mean	sd	
Training Course	X7	13.5	3.0	14.7	3.3	-2.23*
	X9	2.9	0.3	3.0	0.3	-2.22*
	X10	2.9	0.3	3.0	0.3	-2.20*
Basic Course	X8	3.0	0.4	3.1	0.4	-2.29*
	X10	3.0	0.3	3.0	0.3	-2.39*
Advanced Course	X8	2.9	0.4	3.1	0.4	-2.59*
	X9	2.9	0.5	3.0	0.3	-2.29*
	X10	2.9	0.3	3.1	0.3	-2.84**
Overall Course	X7	14.1	3.2	15.0	3.2	-2.73**
	X8	2.9	0.4	3.1	0.4	-3.71***
	X9	2.9	0.3	3.0	0.3	-3.10**
	X10	2.9	0.3	3.1	0.3	-4.15***

추가된 항목 중에서 개인성적과 관련된 항목들(X8~X10)이 전 과정에서 유의한 항목으로 나타났으며, 기존 조종적성검사 항목에서 제외되었던 토막수 세기(X7)가 입문과정, 고등과정, 전체과정에서 유의한 것으로 나타났다.

범주형 설명변수들에 대해 두 집단간의 차이는  $\chi^2$ -검정을 하므로 10개의 범주형 변수에 대한 유의성 검정 결과는 <표 13>과 같다.

〈표 13〉 추가된 범주형 조종적성검사 항목의  $\chi^2$ -검정 결과

Group		Category	Fail(%)	Pass(%)	$\chi^2$
Basic Course	X18	1st	5.04	16.32	7.60*
		2nd	15.13	46.59	
		3rd	7.13	9.79	
Overall Course	X18	1st	8.60	13.17	7.09*
		2nd	23.12	37.90	
		3rd	9.68	7.53	

기본과정과 전체과정에서 3km 달리기(X18)만 유의한 것으로 검정되었고 나머지 항목들은 모든 과정에서 유의하지 않은 것으로 검정되었다.

〈표 14〉는 추가된 조종적성검사를 포함하여 총 20개의 설명변수를 사용한 4가지 기계학습 알고리즘에 대한 결과이다.

기존 조종적성검사 항목에 대한 결과와 마찬가지로 SCAD모형의 정확도가 가장 높은 것으로 나왔다. 특히 본 연구에서 제시한 설명변수들을 포함했을 때 전체과정에 대한 예측 정확도가 71.9%로 기존 설명변수들만을 포함했을 때 보다 5.7% 향상되었음을 보여준다.

SCAD모형이 선택한 설명변수들을 보면 모든 과정에서 종합평점(X10)이 중요변수로 선정되었는데 이는 입과인원 선발 시 학업성취도를 어느 정도 반영해야 함을 시사한다. 로지스틱 회귀분석의 오즈비(odds ratio)를 분석해 보면 종합평점(X10)이 1단위 증가하면 수료가능성은 4.8배 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, MBTI검사에서 성격이 외향적인지 내향적인지를 나타내는 에너지(X14)항목이 중요변수로 선정된 것을 볼 수 있는데, 오즈비 분석 결과 외향적인 인원이 내향적인 인원보다 수료가능성이 1.8배 높은 것으로 분석되었다.

〈표 14〉 모형별 정확도 및 변수 선택 결과

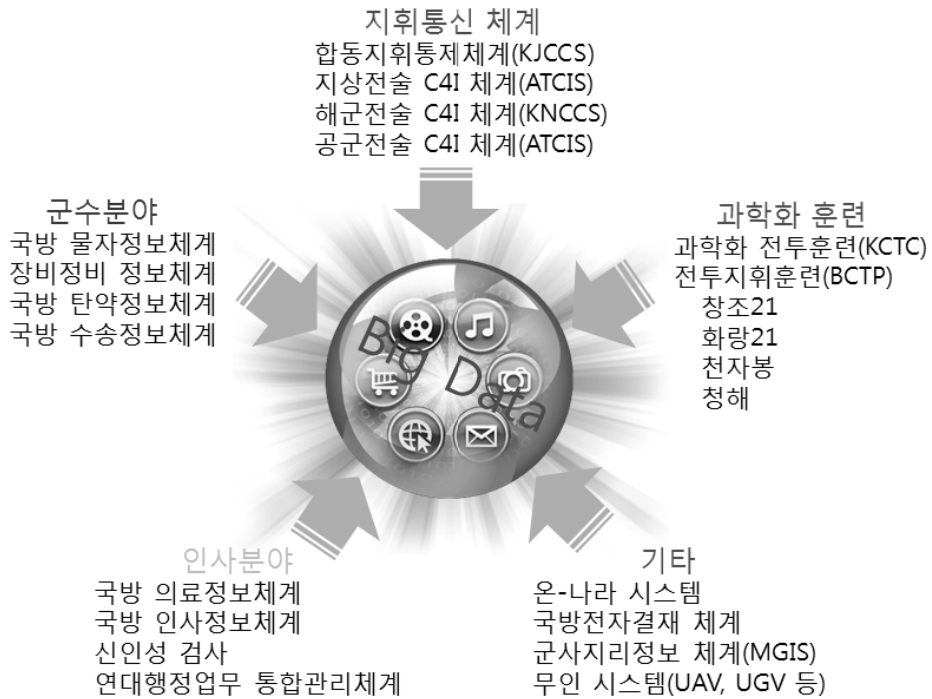
Group		Accuracy(sd)	Selected Variables
Training Course	LOG	88.7(0.028)	X10, X14, X19
	SCAD	<b>91.7(0.042)</b>	X9, X10, X14, X19
	DT	88.6(0.025)	X9
	RF	89.3(0.009)	X9>X7    <sup>10)</sup> X18>X11
Basic Course	LOG	69.0(0.052)	X7, X10, X13, X14, X19
	SCAD	<b>75.3(0.070)</b>	X7, X8, X10, X13, X14, X18, X19
	DT	68.7(0.044)	X9, X10
	RF	70.5(0.038)	X9>X4    X19>X11
Advanced Course	LOG	85.4(0.036)	X10, X12, X13
	SCAD	<b>89.5(0.055)</b>	X10, X12
	DT	86.0(0.041)	X10, X20
	RF	88.0(0.000)	X10>X2    X19>X11
Overall Course	LOG	63.4* (0.076)	X7, X10, X13, X14
	SCAD	<b>71.9*** (0.072)</b>	X7, X10, X13, X14, X18, X19
	DT	62.1*** (0.076)	X8, X10
	RF	64.6*** (0.071)	X10>X4    X19>X11

항공기의 발전추세와 더불어 조종적성검사도 꾸준히 개선 발전되어야 한다. 본 연구 결과가 향후 조종적성검사 항목 선정 시 항목과 방법론에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 5. 국방분야 적용을 위한 제언

기계학습은 빅데이터 시대의 도래와 더불어 기술 및 활용 범위가 급속도로 증대되고 있다. 우리 군도 〈그림 14〉에서 보는 바와 같이 지휘통신 체계, 군수분야, 인사분야, 과학화 훈련, 기타 등에서 영상, 음성, 텍스트 등 다양한 형태의 자료들이 축적되고 있다.

10) 기호(||)의 왼쪽은 연속형 자료이고 오른쪽은 범주형 자료이며 부등호(>)의 해석은 전과 동일하다.



〈그림 14〉 기계학습에 활용 가능한 국방 분야 데이터

과학화 전투훈련의 경우 27종의 마일즈 장비와 238종의 과학화 장비를 통해서 쌍방 훈련간에 각개 병사들의 위치, 음성, 영상, 통신 신호 등 모든 자료들을 실시간으로 저장하고 있으며 1개 대대 훈련 후 생성되는 데이터는 약 300GB 정도라고 하며 현재까지 축적된 데이터는 40TB가 넘을 것이다. 창조21, 화랑21 모델의 경우 10분당 약 5~10MB 정도의 데이터가 생성되는데 2002년 이후 군단/사단급 훈련이 시작된 것을 감안하며 엄청난 양의 데이터가 축적되어 있을 것으로 생각된다.

미군은 퇴역군인을 위한 의료지원을 위해서 방대한 양의 의료정보 데이터를 활용하는데, 우리 군도 매년 간부 11만 여명에 대한 정례신검결과를 저장하고 있으며, 2013년부터는 약 51만여 명의 병사들을 대상으로 상병 진급 시 정례신검을 실시하고 있으며 그 결과를 국군 의무사령부 서버인 NDEMIS 서버에 저장하고 있다.

군수분야의 장비정비 정보체계(DELIIIS)는 말단의 편성부대로부터 육군본부에 이르기까지 하나의 통합된 웹으로 구성된 메가센터개념으로 장비, 수리 부속 및 정비재료, 공구 등의 정보를 저장하고 있다.

## 5.1. 국방분야 적용 방안

우리 속담에 “구슬이 서말이라도 꿰어야 보배다.”라는 말이 있다. 앞서 언급한 바와 같이 우리 군은 지금도 엄청난 양의 데이터를 확보 하고 있다. 하지만 축적된 데이터의 가치를 알지 못하거나 가치가 있는 것을 알더라도 어떻게 가치를 찾아야 하는지를 알지 못한다면 우리 군이 축적한 데이터는 단지 구슬에 불과할 뿐이다.

김각규 외(2014)는 과학화 전투훈련(KCTC)자료를 활용하여 공격작전의 승리요인을 분석하였다. 그들은 목표까지의 진출거리를 반응변수로 놓고 여러 가지 설명변수들을 고안하여 다중회귀분석을 하였는데, 적지중심작전부대 및 침투부대 운용 규모, 공격개시선 통과 이전 공격진출 속도, 주·조공의 병력규모 비율, 공격개시선 통과 이전 부대 밀집도, 지휘관 생존여부, 온도지수 등을 종속변수에 영향을 미치는 설명변수들로 선정하였다. 회귀분석 결과를 바탕으로 적지중심작전팀 수가 많을수록 목표까지 진출이 용이하다든지 대대장의 생존기간이 길수록 목표까지 더 많이 진출한다는 등의 의미 있는 결과를 과학적 분석을 통해 제시하였다.

저자가 알기로는 김각규 외(2014)의 연구는 KCTC 자료를 활용하여 최초로 과학적인 분석을 한 사례이다. 이 외에도 KCTC 자료를 활용하여 다양한 분석이 가능할 것이다. 본 연구에서 제시하는 몇 가지 예는 다음과 같다.

1. 훈련지역의 군사지리정보체계(MGIS)의 지형정보와 실제 훈련간 부대의 침투 및 기동패턴에 관한 분석
2. 대항군과 훈련부대 전투 패턴 분석을 통해 대항군의 강점 분석

장비정비 정보체계(DELIIIS) 수리부속 및 정비와 관련된 유용한 자료들이 저장되어 있다. 기계학습 기법을 활용하면 훈련 및 부대활동과 연관된 수리부속 예측이 가능할 것이다. 예를 들어, 신장비 구매와 동시에 조달되는 동시조달수리부속(CSP)의 경우 과다하게 구매하는 경우 불필요하게 예산을 낭비하게 된다. <표 15>는 몇 가지 무기체계에 대한 CSP 구매 대비 사용비율이다.

<표 15> 장비별 CSP 적중률

구분	화생방 정찰차	BO135 헬기	미스트랄	광개토대왕함
사용/구매(%)	23%	1%	10.5%	4.2%

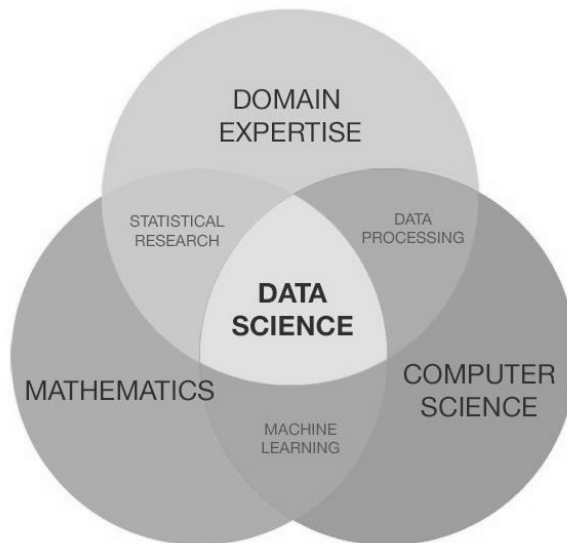
〈표 15〉에 나타난 바와 같이 실제 사용량보다 많은 양의 CSP를 구매하여 구매 및 관리를 위한 예산이 낭비되고 있을 수 있다. 따라서 장비정보체계에 나타난 비용, 수리 정보, 조달기간과 평균고장시간간격(MTBF, mean time between failure)등을 이용하여 적정량의 CSP를 예측할 수 있을 것이다.

이 외에도 다양한 적용분야 및 방법이 있으며 추가적인 내용은 김성우 외(2014) 논문을 참고하기 바란다.

## 5.2. 데이터 과학자(data scientist)의 양성

데이터 과학자는 데이터를 수집, 정리, 조사, 분석, 가시화할 수 있는 전문가를 말한다. 앞서 언급한 대로 우리 군은 다양한 분야에서 다양한 종류의 데이터가 축적되고 있다. 즉, 누구라도 데이터를 분석하여야 하는 위치에 갈 수 있다. 하지만 분석 능력이 없다면 데이터는 그냥 구슬로 남을 수 밖에 없다.

〈그림 15〉는 데이터 과학(data science)이 아우르는 영역들을 벤다이어그램으로 표현한 것이다.



Source: Palmer, Shelly. *Data Science for the C-Suite*.  
New York: Digital Living Press, 2015. Print.

〈그림 15〉 데이터 과학의 영역

벤다이어그램에서 보듯이 데이터 과학은 해당분야 전문지식(domain expertise), 수학(mathematics), 컴퓨터 과학(computer science) 등 다양한 지식을 요구하고 있다. 군에서 데이터 과학자를 필요로 하는 분야는 다양하다. 예를 들어, 전술/전략 평가 및 개발, 교육훈련, 사고예방, 분석평가 등 다양한 분야에 데이터 분석이 필요하고 이를 위해서는 데이터 과학자가 반드시 양성되어야 한다. 양성된 데이터 과학자는 합참의 분석실험실, 각 군의 분석평가 기관(육군의 분석평가단, 해군의 전력분석시험평가단, 공군의 연구분석평가단) 및 국방부, 합참, 각 군의 정책 부서에 두루 쓰여 질 수 있다.

군인은 군사 분야 전문지식을 이미 가지고 있기 때문에 주어진 데이터로부터 국방 분야에 무엇이 필요한지를 알고 있다. 군 관련 실무를 주로 하는 간부들이 데이터 과학이 필요로 하는 모든 영역을 숙달할 수는 없지만 해당분야 전문지식에 추가적으로 본 연구에서 제시한 다양한 기계학습 방법론을 이해하거나 습득한다면 주어진 데이터 속에서 의미 있는 정보를 발굴하고 그것을 통해서 의사결정을 지원하고 전술·전략을 개발할 수 있을 것이다.

## 6. 결론

본 연구에서는 기계학습 알고리즘의 종류와 기계학습을 활용한 최근의 국방분야 연구 사례를 소개하고 국방분야에 기계학습 적용 활성화를 위한 방안 제시로 마무리하였다.

기계학습의 원동력은 데이터이다. 따라서 데이터의 가치를 인정하는 인식의 전환이 필요하다. 군에서 발생하는 모든 자료는 현재 시점에서 필요하든 불필요하든 가능하다면 저장해 두는 것이 좋다. 현재 시점에서 불필요한 자료라도 미래에는 예상치 못한 가치를 창출할 수 있기 때문이다.

기계학습의 중요성은 우리 군이 첨단화 및 과학화가 가속화됨에 따라 그 중요성이 계속 배가될 것이다. 국방분야 데이터에 기계학습을 적용하여 어떻게 유의미한 자료를 도출할 수 있는지를 연구사례를 통해서 설명하였다. 비록 한정된 분야에 적용된 결과이지만 실제 우리 군에 응용할 수 있을 뿐만 아니라 해당 연구를 통해서 더 발전된 연구를 할 수도 있을 것이다.

국방분야에 기계학습 적용 활성화를 위해 다음 2가지를 제시하였다. 첫 째, 현재 있는 데이터를 면밀히 관찰해서 어떤 정보를 찾을 수 있을 지를 고민해야 한다. 데이터

에서 유의미한 정보를 찾는 것을 데이터마이닝(data mining)이라고도 한다. 광산에서 가치있는 광물을 캐는 것에서 유래된 말이다. 데이터가 가치 있는 것이라는 인식의 전환이 있을 때 데이터마이닝을 하고 유용한 정보를 찾는 것이 가능하다. 둘째, 데이터를 분석할 수 있는 데이터 과학자를 양성하여야 한다. 데이터를 다루는 위치에 있는 간부는 기본적인 데이터 분석뿐만 아니라 다양한 기계학습 알고리즘을 습득하여 데이터 자체만으로는 찾을 수 없는 예기치 못한 정보를 생성할 수 있는 역량을 가져야 한다.

본 연구를 통해서 데이터를 다루는 업무와 관련된 의사결정자 및 실무자가 데이터의 중요성과 기계학습의 필요성을 인식하고 다양한 분야에서 기계학습을 적용하여 국방 운영의 효율성이 증대되기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 강규영, “전입 병사의 조기 숙달을 위한 배속방안 연구”, 국방대학교 석사논문, 2010
- [2] 강한태, 최성욱, “성격특성과 초등비행교육 성적과의 상관관계에 관한 연구”, 대한인간공학회 춘계학술대회, 2000
- [3] 공군사관학교, “조종적성검사 백서”, 2011
- [4] 김각규, 김대성, “빅데이터를 통한 공격작전 승리요인 효과측정도구 개발 및 분석: KCTC 훈련사례를 중심으로”, 한국경영과학회지, 39권, 42호, 2014
- [5] 김동균, 김근수, 유도상, 김정운, “비행입문과정 학생조종사들의 자기관리 행동이 비행성적에 미치는 영향”, 공사논문집, 제63권, 2호, 2012
- [6] 김동균, 전상윤, “심리적 요인이 비행훈련과정에 미치는 효과”, 한국스포츠심리학회지, 제14권, 4호, 2003
- [7] 김동균, 홍길동, “심리적 요인과 초등비행 훈련성적과의 관계”, 한국스포츠심리학회지, 제10권, 2호, 1999
- [8] 김성우, 김각규, 윤봉규, “국방분야 빅데이터 분석의 활용가능성에 대한 고찰”, 한국경영과학회지, 제39권, 2호, 2014
- [9] 김성준, “다변량 목표변수를 갖는 의사결정나무의 노드분리에 관한 연구”, 한국지능시스템학회, 제13권, 4호, 2003
- [10] 김종탁, 정주성, 문채봉, 조관호, 전성진, 배진성, “국방개혁 대비 조종인력 소요산출 및 관리방안”, 한국국방연구원, 2009
- [11] 김해식, “AHP기법과 목표계획법을 이용한 신병 군사특기 분류 모형 연구”, 국방대학교 석사논문, 1998
- [12] 김희영, 김수환, 문호석, “비행교육과정 단계별 분석을 통한 조종적성검사 항목 타당성 연구”, 한국지능시스템학회지, 제26권 3호, 2016
- [13] 브레트 란츠 지음/전철욱 옮김(2015), R을 활용한 기계학습(데이터 분석을 위한 머신러닝 이론과 적용), 에이콘
- [14] 서민구(2015), R을 이용한 데이터 처리 & 분석 실무, 길벗
- [15] 손소영, 조용관, 최성욱, 김영준, “단계별 비행훈련 성공 및 실패 예측 모형에 관한 연구”, 대한인간공학회, 제21권, 1호, 2002
- [16] 신철세, “체력과 비행기술의 상관 연구”, 한국체육학회지, 제41권, 5호, 2002
- [17] 이상현, 이선두, “조종사 비행훈련 성패예측모형 구축을 위한 중요변수 선정”, 대한산업공학회, 제20권, 1호, 2007

- [18] 이선두, “성공적인 비행훈련 예측모형 구축을 위한 중요변수 선정에 관한 연구”, 국방대학교 석사논문, 2005
- [19] 이은경, “양친이 안계신 가정 아동의 정서·행동 문제에 대한 연구”, 대한가정학회지, 제 42권, 12호, 2004
- [20] 임영규, “기업부실 예측에 관한 실증적 연구”, 성균관대학교 대학원 박사학위논문, 1990
- [21] 윤승진, 김수환, 신경식, “데이터 마이닝과 텍스트 마이닝의 통합적 접근을 통한 병사 사고 예측 모델 개발”, 지능정보연구, 제21권 3호, 2015
- [22] 윤유경, 김영호, “비행입문과정 학생조종사의 비행교수에 대한 바람직한 특성지각 및 소통 노력 연구”, 한국심리학회지: 일반, 제32권, 4호, 2013
- [23] 윤유경, 김영호, “비행입문과정 학생조종사의 비행훈련 성공요인 인식에 관한 연구”, 공사 논문집, 제65권, 2014
- [24] 윤유경, 김영호, “비행입문과정 학생조종사의 심리적 특성과 비행성적의 관련성 연구”, 공사 논문집, 제64권, 2호, 2013
- [25] 윤태복, 이지형, “인간 지식을 이용한 경험적 의사결정트리의 설계”, 한국지능시스템학회, 제19권, 4호, 2009
- [26] 전치혁(2013), 데이터마이닝 기법과 응용, 한나래
- [27] 정재범, “통계적 클러스터링을 활용한 새로운 신병 분류 방법 제안”, 대한산업공학회 추계 학술대회 논문집, 2009
- [28] 최성욱, 김진호, “조종적성검사와 비행훈련과의 상관관계에 관한 연구”, 공사논문집, 제47권, 1호, 2001
- [29] 한국국방연구원, “장비납품 후 보증기간 이내 발생하는 하자복구방법 개선 방안 연구”, 2011
- [30] 한국국방연구원, “적성적응도 해석 요강”, 2012
- [31] 한국전자통신연구원, “빅데이터 활용을 위한 기계학습 기술동향”, 2012
- [32] 홍길동, “G 내성 강화를 위한 항공체력 증진 방안”, 공사논문집, 제39권, 1997
- [33] 홍승현, 신경식, “유전자 알고리즘을 활용한 인공신경망 모형 최적입력변수의 선정:부대예측 모형을 중심으로”, 한국지능정보시스템학회, 제9권, 2003
- [34] 허명희(2014), 응용 데이터 분석, 자유아카데미
- [35] Beaver, W., “Financial ratios as predictors of failure. Empirical research in Accounting; Selected studies,” Journal of Accounting Research, Vol. 6, 1997, pp.249-264.
- [36] Blei, D., A. Ng, M. Jordan, and J. Lafferty, “Latent Dirichlet Allocations,” Journal of Machine Learning Research, Vol. 3, 2003, 993-1022.

- [37] Breiman, L.(2001), Random Forests, Statistics Department, University of California
- [38] Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. and Stone, C. T., Classification and Regression Tree, Wadsworth, 1984
- [39] Carretta, T. R., Male-Female Performance on U.S. Air Force Pilot Selection Tests, "Aviation Space and Environmental Medicine", vol.68, no.9, 1997
- [40] Fan, J. and Li, R., "Variable Selection via Nonconcave Penalized Likelihood and Its Oracle Properties", Journal of the American Statistical Association, vol.96, no.456, 2001
- [41] Hand, D.m Mannila,H., and Smyth, P. Principles of Data Mining, Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
- [42] Hanweak, G. A., "Predicting Bank Failure," Research Oapers in Banking and Economics, Financial Studies Section, FRB, November, 1977.
- [43] Hofmann, T., "Probabilistic latent semantic indexing," Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, 1999, pp.50-57
- [44] Hall, M. A., "Correlation-based Feature Selection for Discrete and Numeric Class Machine Learning", ICML, '00 Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning, 2000
- [45] Johnson, W. B., "The Cross-Sectional Stability of Financial Ratio Patterns," Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 14, 1997, pp. 97-108.
- [46] Kuhn, M. and Johnson, K.(2013), Applied predictive modeling, New York, NY: Springer
- [47] Landauer, T. K. & Dumais S. T., "A solution to Plato's problem: "The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge," Psychological Review, 104, pp.211-240
- [48] Li, J., Cheng, K., Wang, S., Morstatter, F., Trevino R. P., Tang, J. and Liu, H., "Feature Selection: A Data Perspective", Cornell University Library, 2016
- [49] Martin, D., "Early Warning of Bank Failure: A Logit Regression Approach," Journal of Banking and Finance, Vol. 1, 1977, pp.249-276
- [50] Salton G. and McGill, M. J., Introduction to modern information retrieval, McGraw-Hill, 1983.
- [51] Shub, Y., Kushnir, A. and Frenkel, J., "Pilot Evaluation System", Aerospace and Electronics Conference, Proceedings of the IEEE National, vol.2, 1994

- [52] Witten, I. H., Text Mining, Practical Handbook of Internet Computing, CRC Press, 2004.
- [53] Yeom, S. J. and Lee, Y. H., "A Study on Prediction Modeling of Kores Military Aircraft Accident Occurrence", International Journal of Industrial Engineering, vol.20, no.9/10, 2013
- [54] Zhanga, Y., Lia, R. and Tsaia, C., "Regularization Parameter Selections via Generalized Information Criterion", Journal of the American Statistical Association, vol.105, no.489, 2010
- [55] Zhao, P. and Yu, B., "On Model Selection Consistency of Lasso", The Journal of Machine Learning Research, vol.7, 2006



## 유의사항

1. 본 연구보고서 내용은 연구진의 개인적인 견해로서 국방대학교 안보문제연구소의 공식입장과 다를 수 있습니다.
2. 본 연구보고서는 정책입안시 참고자료로만 활용하고 타기관에 불필요한 자료유출을 삼가 주시기 바랍니다.

2016년 12월 21일 인쇄

2016년 12월 23일 발행

저 자 : 강동수 등 3명

발행처 : 국방대학교 안보문제연구소

TEL. (02) 300 - 4213

FAX. (02) 300 - 4217

E-mail. [kndu212@kndu.ac.kr](mailto:kndu212@kndu.ac.kr)

인 쇄 : 화신문화(주) (02) 2277-0624

ISSN 1976-5967

Volume 9

2016. 12



# Military Science & Technology Annual Report



Korea National Defense University  
Research Institute for National Security Affairs