

국방과학기술



국방대학교
국가안전보장문제연구소

2021 안보연구시리즈 제7권 4호

국방과학기술

인 쇄 2021년 12월 31일

발 행 2021년 12월 31일

발 행 처 국가안전보장문제연구소

발 행 인 국가안전보장문제연구소장

주 소 33021 충청남도 논산시 양촌면 황산별로 1040

전 화 TEL : 041-831-6412 FAX : 02-748-7588

홈페이지 <http://www/kndu.ac.kr>

<http://www/kndu.ac.kr/rinsa>

디자인 및 인쇄 경성문화사 TEL : 02-786-2999

© 국가안전보장문제연구소 2021

비매품

ISSN 2586-5323

1. 본 연구보고서 내용은 연구진의 개인적인 견해이며 소속 기관의 공식적인 견해가 아닙니다.
2. 본 연구보고서는 정책입안시 참고자료로만 활용하고 타기관에 불필요한 자료유출을 삼가주시기 바랍니다.

2021년은 그야말로 대전환의 시기였습니다. 종식될 줄 알았던 코로나19 사태는 우리 삶의 방식을 바꿔놓았습니다. 기대와 함께 미국의 바이든 행정부가 출범했지만 미·중 간의 전략경쟁은 경제, 금융, 기술 분야를 비롯한 모든 분야로 확대되고 있습니다. 2018년부터 전세계의 주목을 받으며 시작된 한반도 비핵화 노력은 정체되어 있습니다. 역사적으로 유래를 찾을 수 없는 불확실한 미래에 직면하여 한국의 안보를 위한 다양한 논평과 해설이 쏟아지고 있습니다.

한국의 안보를 위한 시사적인 논평과 해설은 물론 중요하지만, 미래를 정확히 예측하고 대비하기 위해서는 사안의 본질을 정확하게 파악해야 합니다. 보다 깊이 있고 체계적인 연구를 위해 국방대학교 안보문제연구소에서는 매년 국방부, 합참, 각 군 본부의 의견을 수렴하여 보다 근본적이고 거시적인 분석이 필요한 주제를 선정하고, 관련 분야의 저명한 학자 및 전문가들에게 심층적인 연구를 의뢰하고 있습니다.

올해는 외교/안보와 북한, 국방정책 및 군사전략, 경제안보와 국방관리, 국방과학기술, 예비전력 정예화 및 미래혁신의 5개 주제를 중심으로 19개의 정기(기초)연구과제를 선정 하였습니다. 관측된 현상의 원인을 심층적으로 분석하고 이에 대한 근원적인 대담을 제공해주는 이론적 탐구로부터, 실제 활용 가능한 정책대안까지 망라한 연구가 진행되었습니다. 연구자들의 연구결과를 종합하여 『2021 안보연구시리즈』로 내놓습니다.

이러한 연구결과가 안보 관련 부처의 정책개발 및 집행과정 뿐만 아니라 연구자들에게 유용한 아이디어를 제공하고, 참고자료로 활용될 수 있기를 바랍니다. 끝으로 제한된 연구기간에도 불구하고 좋은 연구를 해주신 교내·외 연구자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

2021년 12월 31일

국방대학교 총장 겸 국가안전보장문제연구소장 육군소장 정 해 일

1. 기술이 안보를 선도하는 시대의 국방과학기술 발전방향	1
■ 국방 빅데이터 기술의 발전방안 연구	1
(육군사관학교 방성완)	
I. 연구 개요	2
II. 민간 및 국방 빅데이터의 활용사례 분석	5
III. 국방 빅데이터 관리체계의 발전방안 연구	16
IV. 국방 빅데이터 분석처리 기술 연구	24
V. 맺음말	41
■ 스마트 국방혁신에 기여하는 국방 인공지능 발전 방안 연구	49
(국방대학교 문호석 / 고려대학교 김정환)	
I. 서론	50
II. 스마트 국방혁신과 국방 인공지능과의 관계	52
III. 국내·외 국방 인공지능 현황	55
IV. 국방 인공지능 활용 및 발전 방안	73
V. 결론	89
■ 육군 과학화전투(KCTC)훈련 발전 방안 연구	93
(국방대학교 문호석)	
I. 서론	94
II. KCTC훈련결과 분석의 현실태 진단과 중요성	96
III. KCTC훈련결과 분석 방법론 제안	107
IV. KCTC훈련결과 분석을 위한 Road-map	132
V. 결론	133

2. 4차 산업혁명시대의 스마트 국방을 위한 국방사업관리 분석기법 연구 137

(국방대학교 조남석 / 국방대학교 윤봉규 / 국방대학교 이춘주)

- I. 서론 138
- II. 국방사업관리를 위한 최적화 분석 141
- III. 국방사업관리에 필요한 확률적 현상 분석 방법
: R을 활용한 마코비안 모형 구축/분석 162
- IV. 국방사업 성과분석: R을 활용한 자료포락분석 198
- V. 결론 242

3. Army Tiger 4.0 아키텍처 설계 연구 251

(국방대학교 권태욱 / 국방대학교 강동수)

- I. 연구개요 252
- II. Army Tiger 4.0 체계 요구능력 253
- III. Army Tiger 4.0 체계 아키텍처 설계 292
- IV. Army Tiger 4.0 발전을 위한 개념 연구 303
- V. 결론 (Army Tiger 4.0 발전을 위한 제언) 322

국방 빅데이터 기술의 발전방안 연구

육군사관학교 교수 방성완

- I. 연구 개요
- II. 민간 및 국방 빅데이터의 활용사례 분석
- III. 국방 빅데이터 관리체계의 발전방안 연구
- IV. 국방 빅데이터 분석처리 기술 연구
- V. 맺음말

요 약

데이터를 분석하여 새로운 가치(value)와 통찰력(insight)을 얻고 이로부터 합리적이고 과학적인 의사결정을 하는 일련의 과정은 현실 세계의 많은 분야에서 널리 활용되고 있으며, 데이터과학 분야에서 지속적으로 연구되고 있다. 첨단 과학기술의 발전과 더불어 최근에는 빅데이터가 수집되고 있으며, 이는 그 규모(Volume)와, 속도(Velocity), 다양성(Variety) 측면에서 기존의 데이터와는 큰 차이가 있다. 3V로 정립되는 빅데이터는 공공 및 민간부분의 여러 다양한 분야에서 활용되어 의사결정자에게 유용한 가치와 정보를 제공하고 있으며, 해당 기관의 생존을 위한 필수요소로 인식되고 있다.

빅데이터는 그 개념이 등장한 이후부터 지금까지 다양한 분야에서 많은 관심을 받으며 활용되고 있으며, 군 또한 국방운영 전반에 걸쳐 빅데이터를 구축하고, 데이터 분석기술을 활용하여 합리적이고 과학적인 국방정책을 추진하기 위한 노력을 하고 있다. 군은 빅데이터에 기반한 스마트 국방혁신을 추진하고 있으며, 자료 보존에 대한 요구사항과 IT 기술의 발달과 함께 의료, 교육훈련, 군수, 인사 등 다양한 분야에서 빅데이터를 수집·보관하고 있다. 그러나 빅데이터를 국가 전략적 자산으로 인식하고 새로운 가치 창출에 매진하는 국내·외 민간분야와 비교할 때 군의 빅데이터 활용 범위는 매우 제한적이며, 가치 창출의 효과

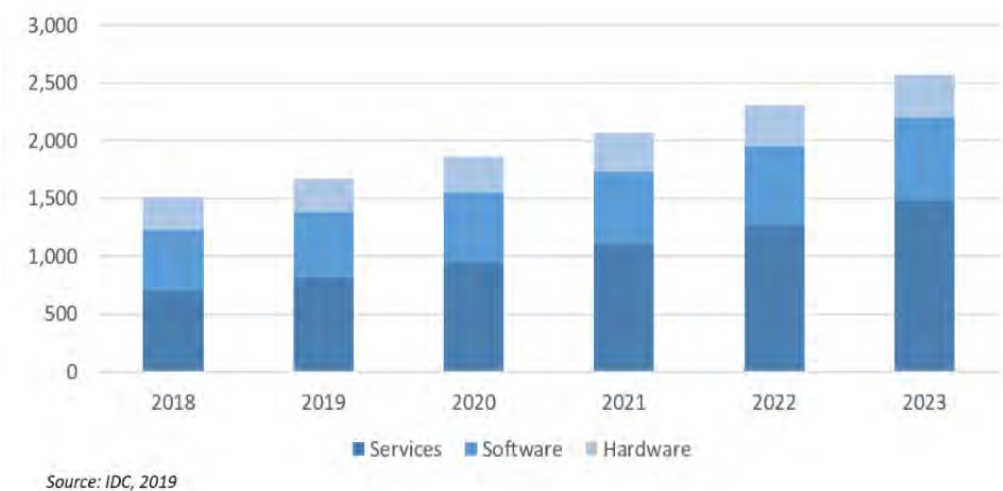
또한 미비한 실정이다. 특히, 군은 국방 빅데이터를 분석, 처리하기 위한 제도와 조직, 인력, 예산 등이 미비한 실정이고, 그 결과 데이터를 체계적으로 관리하지 못하고 있으며, 데이터를 분석하더라도 유용한 가치와 정보를 충분히 도출하지 못하고 있다.

국방 빅데이터는 민간분야에서 수집되는 일반적인 빅데이터와는 두 가지 측면에서 차이점이 있다. 먼저 국방 빅데이터는 개인정보, 비밀정보 등 군사기밀 사항과 관련된 보안 문제로 인해 외부로의 유출이 엄격히 통제되고 있으며, 내부의 제한된 컴퓨팅 인프라로 분석·처리해야 하는 경우가 빈번히 발생한다. 또한, 군사 활동간 수집되는 데이터는 정상적인 (negative) 자료가 대부분이며, 부대 안전사고 발생, 적 침투사태 발생 등 비정상적 (positive) 자료는 그 발생 빈도가 매우 낮다. 즉 국방 빅데이터는 매우 불균형적으로 수집·저장된다. 이처럼 국방 빅데이터는 많은 경우 군 내부의 제한된 컴퓨팅 인프라로 처리되어야 하며, 동시에 불균형 데이터의 분석기법을 활용하여 분석되어야 올바른 가치와 정보를 창출할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 민간 및 국방 분야의 빅데이터 활용사례를 살펴보고, 국방 빅데이터 관리체계의 현 실태를 분석하였으며, 나아가 국방 빅데이터의 통합구축 관리, 분석기술 개발, 정책 및 제도적 측면에서 국방 빅데이터의 효율적인 활용을 위한 발전방안을 제시하였다. 또한, 군내 제한된 컴퓨팅 인프라로 대용량의 불균형적인 국방자료를 분석할 수 있는 기술 개발에 대한 연구를 진행하였다.

I. 연구 개요

4차산업혁명 시대의 등장과 함께 인공지능, 빅데이터 등의 데이터과학 기술은 우리 사회의 산업, 과학, 예술 분야 등 거의 모든 분야에서 공공부문과 민간부문을 불문하고 그 필요성과 활용 가치가 급속도로 증가하고 있다. IT 시장분석 및 컨설팅 기관인 한국 IDC (International Data Corporation Korea Ltd.)는 <그림 1>과 같이 국내 빅데이터 시장이 2023년까지 연평균 성장률 11.2%를 기록하며 2조 5,692억원의 규모에 달할 것으로 전망했다. 이처럼 기업 및 공공기관 등 모든 산업분야에서 비즈니스 혁신을 위한 인사이트를 도출하고 분야의 가치를 향상시키기 위하여 데이터 활용의 필요성과 중요성 대한 인식이 높아지고 있다.



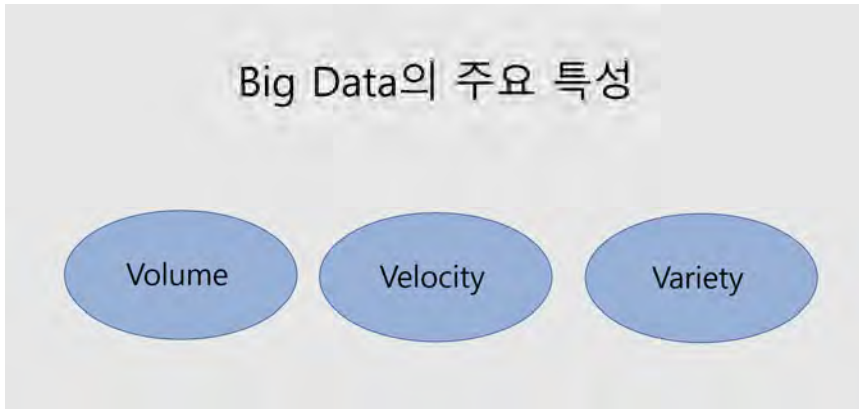
〈그림 1〉 빅데이터 시장 규모 변화

* 자료 : 김성수(2020.01.23.). 국내 빅데이터·분석 시장, 2023년 2조5692억원 규모 전망. IT Daily. <https://www.itdaily.kr/news/articleView.html?idxno=99567>에서 재인용. 2021년 9월 5일 검색.

‘빅데이터’란 용어는 2011년 McKinsey Global Institute에서 발표한 보고서에서 최초로 사용된 이래 이 시대를 대표하는 주요 키워드 중 하나가 되었으며, ‘일반적으로 기존 데이터베이스 관리 도구의 능력을 넘어서는 대용량의 정형 또는 비정형의 데이터와 이러한 데이터로부터 가치를 추출하고 결과를 분석하는 기술’로 정의된다. 즉, 빅데이터는 기존의 데이터베이스로는 처리하기 어려울 정도로 방대한 양의 데이터를 의미하며, 광의의 관점에서 데이터 관리·분석과 관련된 기술 및 도구(하둡, NoSQL, 시각화, 기계학습 등)를 모두 포함하는 것이 일반적이다.

데이터를 수집·분석하여 새로운 가치(value)와 통찰력(insight)을 얻고 이로부터 과학적인 의사결정을 하는 일련의 과정은 데이터과학 분야, 특히 통계학에서 지속적으로 연구되어 왔다. 그러나 4차산업혁명 시대의 빅데이터는 기존의 데이터와는 3가지 관점, 즉 〈그림 2〉와 같이 규모(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety) 측면에서 큰 차이가 있다. 텍스트, 동영상, 음성, 사진 등 다양한 형태로(Variety), 실시간적으로 빠르게 생성되는(Velocity), 대용량의 막대한(Volume) 데이터, 즉 3V로 정립되는 빅데이터의 특성으로 인하여 기존의 데이터분석 기술로는 의사결정에 활용할 새로운 가치와 통찰력을 구하기 불가능하다. 나아가 최근에는 기존의 3V에 추가하여 빅데이터의 특성을 5V(Volume, Velocity, Variety, Veracity, Value)로 설명하고 있으며, 3V에 추가되는 신뢰성(Veracity)은 데이터의 원천 배경 및 형태의 다양성에도 불구하고 신뢰성이 보장된 데이터를 의미하고, 가치(Value)는

새로운 가치를 창출할 수 있는 데이터를 의미한다. 이러한 빅데이터의 특성으로 인하여 빅데이터의 분석처리를 위해서는 수집, 저장, 처리, 분석의 과정별로 다양한 영역에서의 최신 기술이 필요하다.



〈그림 2〉 빅데이터의 특성

빅데이터는 공공 및 민간부분의 여러 다양한 분야에서 활용되어 의사결정자에게 유용한 가치정보를 제공하고 있으며, 해당 기관의 생존을 위한 필수요소로 인식되고 있다. 군 또한 국방운영 전반에 걸쳐 빅데이터를 구축하고, 데이터 분석기술을 활용하여 실시간적으로 합리적이고 과학적인 국방정책을 추진하기 위한 노력을 하고 있다. 그러나 군은 국방 빅데이터를 분석처리하기 위한 제도와 조직, 인력, 예산 등이 매우 미비한 실정이고, 그 결과 데이터를 체계적으로 관리하지 못하고 방치 또는 폐기하거나, 분석을 하더라도 유용한 가치와 정보를 충분히 도출하지 못하고 있는 실정이다. 또한, 군사기밀 사항과 관련된 보안 문제로 인해 내부의 제한된 컴퓨팅 인프라로 분석처리해야 하는 국방 빅데이터의 특수성을 고려한 분석기술 개발의 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 국방 빅데이터의 관리실태 분석을 통한 체계적인 관리방안에 대한 연구와 국방 빅데이터의 특수성을 고려한 새로운 최신 분석기술의 개발에 대한 연구를 진행하였다. 이러한 연구결과는 향후 국방 빅데이터를 활용하여 새로운 가치를 창출하기 위한 정책개선 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 민간 및 국방 빅데이터의 활용사례 분석

4차 산업혁명의 주요 기술 중의 하나인 빅데이터는 그 개념이 등장한 이후부터 지금까지 다양한 분야에서 많은 관심을 받으며 활용되고 있다. 빅데이터 기술은 AI 기술과의 융합을 통해 그 활용도가 급속도로 증가하고 있으며 민간·공공분야와 국방분야 모두에서 혁신적인 변화를 만들어내고 있다.

이러한 4차 산업혁명이 진행되면서 데이터 생산 및 수요가 폭증하여 데이터의 중요성을 인식한 국가들은 데이터의 활용도를 높이기 위해 하이퍼 스케일의 데이터센터를 구축하고 있다. 시너지리서치 그룹에 따르면 20년 7월 기준 글로벌 하이퍼 스케일 데이터센터는 541 개로 미국이 38%, 중국이 9%, 일본이 6%의 시장을 선도하고 있다. “한국은 데이터 생산량(Gross Data Product) 기준으로 ‘글로벌 5강’이다”(이재수, 2020). 그러나 국내에서는 일부 지역주민과 환경단체의 반대로 인하여 구축이 늦어져 국내 하이퍼 스케일 데이터센터는 '20년 11월에 완공한 KT의 데이터센터가 최초이고 이를 시작으로 다른 기업들도 <표 1>과 같이 데이터센터를 새로 건설하고 있다.

<표 1> 주요 국내기업 하이퍼 스케일 데이터센터 신축 현황

기업명	지역	준공예정	주요내용
SK브로드밴드	서울 가산	2021년	10만대 이상의 서버 운영 가능
NHN	김해 부원	2022년	판교DC의 4배 수준으로 신축 추진
네이버	세종	2022년	아시아 최대 규모(29만㎡) 신축 추진
카카오	경기 안산	2023년	18.4만㎡, 12만대 서버 보관 가능
SK브로드밴드	전북 새만금	2025년	그린 하이퍼 스케일 데이터센터 계획

* 자료 : 이다희(2020)

이러한 인프라를 바탕으로 막대한 양의 데이터를 축적하고 가공할 수 있으며, 이를 통해 수집, 저장된 빅데이터는 다양한 분야에서 활용 가능하다. 또한, 더 많은 데이터를 확보할수록 AI 기술과의 융합을 통해 그 효과를 극대화할 수 있다. 중국은 2017년 AI 군사화를 언급한 이후 AI 무기 수준이 빠르게 진화하고 있으며 미국도 2018년 설치된 ‘AI에 대한 국가 안보위원회(NSCAI)’를 컨트롤 타워로 AI 무기체계 개발에 힘쓰고 있다. 국방부도 2021년 8월 과학기술정보통신부와 국방분야의 4차 산업혁명 완성을 목표로 업무협약식을 맺었으며 민간 D·N·A(데이터·네트워크·인공지능) 신기술을 국방 전 분야에 적용하고자 노력하고 있다. 이와 관련하여 본 장에서는 국내외 민간·공공분야의 빅데이터 활용사례와 함께 국방분야의 빅데이터 활용사례에 대해서 분석하였다.

1. 민간·공공부문 빅데이터 활용사례 분석

(1) 민간기업 활용사례

① 네이버

네이버 대표 한성숙은 2020년 한국판 뉴딜 국민보고대회¹⁾에 참석하여 네이버의 데이터 활용과 관련하여 설명한 바 있다. 한 대표는 강원도 춘천에 위치한 데이터센터를 지난 20년 동안 네이버 이용자의 다양한 정보가 모인 데이터 댐이라고 소개하며, 최근 데이터 양의 폭발적인 증가로 기존 계획을 앞당겨 세종시에 제2 데이터센터를 구축하고 있다고 밝혔다. 2022년 완공 예정인 데이터센터 각 세종은 단독 기업의 데이터센터로는 세계 최대 규모 수준으로 최소 10만대 이상의 서버운영이 가능한 하이퍼스케일로 건립될 예정이다.²⁾

네이버는 이러한 데이터센터를 통해 막대한 양의 데이터를 축적하고 이를 이용해 다양한 서비스를 제공한다. 네이버 애널리틱스는 특정 사이트에 방문한 이용자 수, 유입 검색어 등을 실시간으로 분석하고 해당 사이트에서 가장 인기 있는 페이지와 각 페이지에 방문자가 머무르는 시간 등의 정보를 제공한다. 또한, 신규 및 재방문자 수와 시간대별 방문 분포, 방문 지역 등 방문 특성을 분석하고 방문자의 나이 성별 등 인구통계학적 정보도 제공한다. 이를 통해 판매자는 방문자가 어디서 오는지, 어떤 행동을 하는지 이해함으로써 마케팅 효과를 향상시키고, 온라인 비즈니스를 효율적으로 관리할 수 있다(네이버 애널리틱스.³⁾ 단순한 데이터의 기록, 저장의 역할을 했던 네이버의 데이터센터는 보다 똑똑한 브레인센터로 발전하고 있다. 네이버의 R&D 자회사인 네이버랩스는 CES 2019를 통해 켈킴과 협업하여 세계 최초의 5G 브레인리스 로봇(Brainless Robot)을 시연했다. 이는 5G의 초저지연(ultra-reliable and low latency communications) 성능을 적용한 로봇기술로 자세나 운동 제어를 위한 고성능 컴퓨터를 로봇 자체가 아닌 외부에 달아 통신으로 연결하는 것이다. 네이버랩스는 대부분의 휴머노이드형 로봇들이 센서에서 수집된 데이터를 처리해 다시 모터로 명령을 주는 주기가 약 5ms인데 반해 5G 통신은 지연시간이 1ms이므로 이를 가능하게 한다고 했다. 브레인리스 로봇 기술은 클라우드 기반으로 여러 로봇들을 동시에 제어할 수 있고 클라우드의 고성능 컴퓨터를 여러 로봇이 함께 사용하여 제작비와 유지비를 절감할 수 있으며 고성능 프로세싱 파워를 외부로 분리하여 로봇 전력 소모를 감소시키고 로봇의 물리적 크기와 무관하게 고성능, 고정밀 제어를 가능하게 한다.⁴⁾ 네이버는 5G 특화망

1) 2020년 7월 14일 국민에게 '한국판 뉴딜' 종합계획을 알리기 위해 대통령이 직접 주재한 보고대회

2) 네이버 클라우드 플랫폼, "네이버의 하이퍼 스케일 데이터 센터! 데이터센터 각 세종, 어떻게 진행되고 있을까?" (2020.07.13.)

3) 네이버 애널리틱스, <https://analytics.naver.com/>

과 클라우드 기반의 로봇이 돌아다니며 서비스를 제공하는 스마트 빌딩의 레퍼런스가 될 제2사옥을 건설 중이며 이를 통한 클라우드 로봇틱스 기술 고도화를 눈앞에 두고 있다.⁵⁾

도시 디지털 트윈 데이터를 구축하는 ALIKE는 항공사진을 활용하여 도시를 통째로 스캔해 획득한 수천장의 이미지를 사진측량(Photogrammetry) 기술을 거쳐 도시 전체의 3D 모델을 제작한다. 이는 스마트 시티, 자율주행, 메타버스의 핵심기술이며 그 활용도는 무궁무진하다. 또한 서울시와 공동으로 서울시 전역의 3D 모델을 구축해 공개하기도 했으며, 자체 제작한 최신 디지털 트윈 데이터셋을 연구단체에 무상 배포해 공동 성장을 도모하는 활동도 지속하고 있다.⁶⁾



〈그림 3〉 네이버의 빅데이터 활용 사례

* 자료 : 네이버랩스, <https://www.naverlabs.com/>

② 카카오

카카오는 현재 4개의 데이터센터를 운영하고 있으며, 2023년 준공을 목표로 안산시 소재 한양대학교 에리카캠퍼스 내에 4천억원을 투자해 하이퍼스케일 규모의 데이터센터를 짓는다.⁷⁾ 이는 네이버와 유사한 규모이며 카카오도 AI와 빅데이터, 클라우드 관련 산업 발전을 위한 데이터 주도권 확보를 위해 노력하고 있다.

카카오 모빌리티는 LG, 구글과 같은 국내외 대기업으로부터 총 1조원의 투자를 받아 카카오 택시, 내비게이션, 카카오 대리 등으로 축적한 다양한 주행, 지도 관련 데이터를 바탕으로 자율주행차 개발에 힘쓰고 있다. 또한 현대자동차, 현대모비스, KT 등과 함께 한국자율주행산업협회를 설립하여 자율주행차 시장을 선점하기 위해 협력하고 있으며 연구개발과 사업화 과정까지 힘을 합치기로 했다.⁸⁾ 글로벌 시장 조사기관 내비건트리서치에 따르면

4) 네이버랩스 스토리, “5G 브레인리스 로봇에 대해 반드시 알아야 할 5가지” (2019.05.02.)

5) 네이버랩스 스토리, “네이버 제2사옥, 로봇을 위한 5G 실험 본격화 눈앞” (2021.08.18.)

6) 네이버랩스 스토리, “ALIKE, 도시의 디지털 트윈 구축을 위한 솔루션” (2021.06.11.)

7) 경인일보, “카카오, 안산에 4천억 투자 ‘하이퍼 스케일 데이터센터’ 건설” (2020.09.08.)

8) 한경경제, “현대차·카카오 ‘자율주행 원팀’...1100조 시장 잡는다.” (2021.08.12.)

2030년엔 레벨 3 이상 자율주행차가 신차의 절반을 차지하고 2035년에는 자율주행차 점유율이 75%를 넘길 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 카카오 모빌리티는 국내 자율주행 산업이 글로벌 기술 경쟁에서 우위를 선점할 수 있도록 국내외 자율주행 기업과의 전방위적 협력을 통해 ‘KM 자율주행 얼라이언스 프로그램’을 공식 출범하고 업체 간 협력체계 구축에 나섰다.⁹⁾

카카오 데이터 트렌드(Kakao Data Trend)는 카카오가 보유한 다양한 플랫폼의 빅데이터를 이용자가 직접 살펴볼 수 있는 서비스이다. 이를 통해 포털 다음(Daum)의 통합 검색어 정보를 기간, 기기, 성별, 연령, 지역 등 다양한 기준으로 살펴볼 수 있다. 예를 들어 ‘빅데이터’, ‘AI’로 검색어를 지정하고 지역별 정보를 확인할 수 있는데 그 결과 ‘빅데이터’, ‘AI’ 검색어에 대한 검색량이 지역별로 어떻게 되는지를 확인할 수 있다.

카카오는 의료 빅데이터 사업에도 진출하였는데 이를 위해 2018년 8월 현대중공업지주, 서울아산병원과 함께 의료 데이터 전문회사 설립을 위한 계약을 체결했다. 이는 국내 최초 의료 데이터 전문회사로 익명화된 병원 전자 의무기록(EMR, Electronic Medical Record), 임상시험 정보와 예약 기록, 의료기기 가동률 등의 우수한 국내 의료 빅데이터를 구조화하고 의료 빅데이터 통합 플랫폼을 개발해, 의료 관련 국내외 우수 의료 스타트업과 의료 정보 생태계를 만들며 산업을 선도해나갈 예정이다.¹⁰⁾ 최근에는 LG전자, 연세대 세브란스 병원과 공동으로 IoMT(Internet of Medical Things) 기반 의료시스템 구축 사업도 진행하고 있다.

③ 구글 등 해외 민간기업 활용사례

구글은 ‘감기’와 관련된 검색어 분석을 통한 독감 예보 시스템을 제공했다. 미국 질병통제 예방센터의 데이터와 비교한 결과 검색 빈도 및 실제 독감증세를 보인 환자 숫자 사이에 매우 밀접한 상관관계가 있는 것을 확인하고 구글 홈페이지에서 독감, 인플루엔자 등 독감과 관련된 쿼리의 빈도를 조사, ‘구글독감동향(Google Flu Trends)’라는 독감 확산 조기 경보체계를 마련했다. 이는 미국 보건 당국보다 한발 앞서 시간 및 지역별 독감 유행정보를 제공한다.

월마트는 각 지점의 모바일과 소셜 미디어를 이용한 ‘월마트랩(Walmartlabs)’을 운영하였다. 소셜 미디어 회사인 코스믹스(Kosmix) 인수를 통해 소셜 네트워크와 콘텐츠를 관리함으로써 유통과 전자상거래(e-commerce)간의 시너지 발휘했다. Social Genome은 소

9) 이코노미스트, “카카오모빌리티, 자율주행 얼라이언스 구축...상용화 앞당긴다.” (2021.09.06.)

10) 카카오뉴스, “카카오, AI 의료 빅데이터 사업진출” (2018.08.29.)

셜 미디어를 통해 대규모 데이터를 수집하여 리얼타임으로 해석되어 추출된 정보를 이용하여 상품판매를 촉진하는 기법으로 시시각각 변화하는 소비자의 패턴을 분석하여 적재적소에 필요한 물품을 빠르게 제공함으로써 불필요한 재고 낭비 방지하고 고객이 원하는 물품을 충분히 공급할 수 있기 때문에 점포당 고객 만족도 향상으로 이어져 기업 발전에 선순환적인 역할을 했다.

〈표 2〉 민간기업 빅데이터 활용 사례

업체	활용사례
넷플릭스	고객 데이터 분석 활용한 차별화를 통해 콘텐츠 미디어 기업으로 성장
포스코	원료가격을 효율적으로 구매함으로써 가격 경쟁력을 향상
GS EPS	전력시장 분석을 통해 합리적인 전력 시장 분석 및 예측
SK 텔레콤	소셜 네트워크에서의 여론동향 분석을 통해 기업에 필요한 콘텐츠 제공
오이스터에이블	유동인구와 거주인원 데이터를 분석하여 지자체와 협업한 거점에 AIoT 분리배출함 설치, 시민 재활용 참여 촉진
파디엠	공공데이터를 활용하여 귀가 시 후방에 다가오는 위험인물을 미리 감지, 실시간 영상 촬영 및 전송
페달체크	소셜 빅데이터를 활용하여 자전거 정비의 니즈를 파악, 라이딩 거리에 따른 자동 알림 및 부품 추천

* 자료 : 한국지능정보사회진흥원(2020) 참조

자라는 MIT 대학과 함께 전 세계 매장의 판매와 재고 데이터를 분석하여 최대 매출을 달성할 수 있는 재고 최적 분배 시스템을 개발하여 자사 기획상품의 판매현황을 실시간으로 분석하였다. 이를 통해 시장에서 인기 있는 제품에 대해 분석하여 생산 시스템에 직접적으로 연결함으로써 빠르게 변화하는 트렌드에 맞추어 의류를 제공할 수 있는 시스템을 마련하였다.

코카콜라는 SNS 인터넷 게시판 등의 데이터를 실시간으로 분석하여 내부 자산으로 활용하였다. 다양한 소셜 미디어에서 얻어진 데이터를 분석하여 제품 판매에 연관된 의사결정에 반영하여 코카콜라에 비우호적인 정보가 증가하는 국가나 지역을 대상으로 홍보를 강화하는 등의 실시간 대응을 가능하게 하였다.

네이버, 카카오, 구글 등 많은 민간기업들이 빅데이터를 수집하고 이로부터 유용한 가치와 정보를 도출하여 기업의 정책결정에 활용하고 있으며, 그 외 민간기업의 활용사례는 〈표 2〉와 같다.

(2) 국외 공공분야 활용사례

주요 국가의 정부와 지자체들도 빅데이터 분석을 국가 경쟁력 및 시민 복지 향상의 수단으로 활용하고 있다. 재난방재, 질병 방지, 치안, 물가관리 등 공공 서비스 영역에 빅데이터 활용이 증가하고 있으며, 정부차원의 빅데이터 활용을 통해 신산업 및 일자리 창출, 국가 산업경쟁력 향상을 도모하고 있다.

① 미국

미국은 빅데이터 분석을 활용하여 탈세 및 사기범죄 예방 시스템 구축하였다. 소셜 네트워크 분석에 기반을 둔 범죄 네트워크 분석 기능을 통해 데이터에서 이상 징후를 찾아내고 예측 모델링을 통해 과거 행동 정보를 분석해 사기 패턴과 유사한 행동을 파악했다. 또한 통합형 탈세 및 정부 사기 방지 시스템을 통해 연간 3,450억 달러에 달하는 세금 누락 및 불필요한 세금 환급 절감 효과를 거두었다.

미국은 유전자 데이터 공유를 통한 질병치료체제도 마련하였다. 국립보건원과 75개 기업 및 기관들이 파트너십을 통해 공동으로 진행한 1000 유전체 프로젝트의 일환으로 200TB의 유전자 정보를 확보하였다. 1000 유전체 프로젝트는 전 세계의 2,662명의 유전자 정보를 저장하고, 질병 연구를 위해 1% 이상의 빈도를 나타내는 유전적 다양성을 분석했다. 유전자 정보를 공유함으로써 새로운 질병에 대한 빠른 진단 서비스 제공이 가능하게 되었다. 퇴역 군인들에게도 의료 서비스를 지원했다. 빅데이터 분석을 위해 2년간 25개의 데이터 웨어하우스를 배치하여 2,200만 퇴역 군인들에게 의료 서비스 지원했다. 페타바이트 수준의 임상적, 유전적 데이터 분석으로 보다 효과적인 의료 서비스 지원에 기여하였다.

그 외에도 미국은 FBI, 유전자 색인 시스템을 활용한 단시간 범인 검거 체계를 마련하기 위해 유전자 정보은행CODIS(Combined DNA Index System)을 구축하였다. CODIS에는 미제 사건 용의자 및 실종자에 대한 DNA 정보 1만 3,000건을 포함한 12만 명의 범죄자 DNA 정보가 저장(FBI는 매년 2,200만 명의 DNA 샘플을 추가하여 범죄 수사에 활용)되어 있다.

② 영국

영국은 공공·민간·개인 등이 보유한 정보를 개방하여 상호 공유하게 하는 서비스를 제공한다. 이는 2010년 시작되었으며 공공기관, 민간기업, 개인 등이 보유하고 있는 전기, 가전, 휴대폰, 가로등의 센서로부터 제공된 정보를 저장하여 분석·제공한다. 일반적인 수준의 데이터 이용은 대중에게 무료로 공개되며 공유데이터를 기반으로 웹 프로그램, 스마트폰 앱

개발 등에 응용 및 활용한다. 앱 개발 또는 분석된 데이터의 독점적 이용을 원하는 고객들에게는 유료로 서비스를 제공하고, 시민의 자발적인 참여와 창의성을 기반으로 정책수립에 기여하고 있다.

③ 일본

일본은 센서데이터를 활용한 지능형 교통안내 시스템을 구축하였다. 일본 전역 지정도시의 택시 약 11,000대와 데이터 제공에 동의한 사용자로부터 실시간으로 교통정보 수집한다. GPS 데이터에서 자동차의 주행스피드를 계산하여 도로 교통정보를 예측한 후 사용자의 스마트폰으로 송신한다. 다양한 사용자에 의해 취득된 정보를 바탕으로 한 실시간 교통정보를 공유함으로써 최적의 교통안내 서비스 기능을 한다.

④ 케냐

케냐는 우샤히디(Ushahidi)를 이용해 집단지성으로 이루어진 재난관리 오픈소스 플랫폼을 제공한다. 우샤히디는 스와힐리어로 '증언'이라는 뜻으로 현재 세계 각국에서 발생하는 폭력, 테러, 자연재해 등을 실시간으로 공유하는 시스템이다. 이는 이메일, 트위터, 휴대폰 등으로 다양하게 취합된 재난현장정보를 웹 지도상에서 보여주는 국민 참여형 플랫폼이다. 아이티 지진, 러시아 산불, 칠레 지진, 영국 지하철 파업 등 다양한 재난 현장에서 활용되었으며, 신종플루, 쓰나미, 일본 지진발생 지역 등 전 세계의 사건·사고 정보를 공유 가능하다. 그리고 재난·재해, 사건·사고가 발생하면 관련 정보를 실시간으로 중계하는 웹사이트를 만들어 구조를 청하는 피해자들이 보내는 문자정보로 GPS 좌표를 만든다. 케냐는 이러한 IT 기반 재난안전 플랫폼의 제공을 통해 국민들의 자발적인 참여에 의한 재난상황 전파와 연계협력으로 안전을 관리하는 국민 참여형 안전관리를 구현하였다.

그 외 국가별 공공분야 빅데이터 활용 사례는 <표 3>과 같다.

<표 3> 국가별 공공분야 빅데이터 활용사례

국가	활용사례
덴마크	풍력 발전에 필요한 터빈 관리 및 배치의 효율적 사용
캐나다	미숙아 모니터링을 통한 감염 예방 및 예측(온타리오 공과대 병원)
네덜란드	데이터를 분석하여 소의 사육밀도를 높여 건강한 사육과 우유 생산량 증대에 기여
프랑스	스마트폰의 마이크로로부터 얻은 소음 정보를 종합해 소음지도 제작
싱가포르	주민위원회 센터 네트워크를 기반으로 맞춤형 복지사회 구현

(3) 국내 공공분야 빅데이터 활용사례

① 한국도로공사

한국도로공사는 고객의 목소리(VOC, Voice of Customer) 분석을 통해 서비스를 혁신하였다. 콜 상담서비스, 민원관리시스템, 채팅 상담 시스템을 고도화된 언어처리 기법으로 분석하여 고객 만족 활동에 도움이 될 수 있는 지표와 이슈를 도출하였고, 분석 주제를 기반으로 키워드와 토픽을 추출하여 유형별, 시간별 분석을 실시했다. 이를 통해 연관도와 추이 분석, 토픽 간의 연관성을 빠르고 쉽게 확인이 가능하게 하였다.

② 한국수자원공사

한국수자원공사는 정보통신 기술을 접목하여 물 관리 시스템을 구축하였다. 수도관 수천 개를 하나의 네트워크 개념으로 통합하고 전체 네트워크가 효율적으로 운영되도록 각각의 수도관을 관리하였다. 또한, 하나의 관제 컴퓨터가 시 규모의 지역 수도관 정보를 통합 및 관리하였다. 그리고 수도관 중간에 유량, 수질, 유수율 등을 관측하는 센서가 설치되어 있어 수도관의 정보를 실시간으로 관제 컴퓨터에 전송할 수 있게 하였다. 또한, 수도관 파손으로 누수가 발생하면 수도관에 설치된 센서에서 누수량을 감지하고 누수 위치를 파악할 수 있게 하여 관제 컴퓨터가 사고 지점과 연결된 수도관을 파악하고, 원격 자동감시 장치에 처리 명령을 내려 수압을 조절할 수 있게 하였다. 상수도관에 설치된 센서를 통해 실시간으로 물 관리가 가능하여 원격 자동감시 장치를 통해 최적화된 물 관리 시스템을 구현하였다.

③ 근로복지공단

근로복지공단은 산재보험과 고용보험의 빅데이터를 활용한 ‘지능형 재할 지원시스템’을 도입하였다. 한국정보화진흥원의 ‘2019년 ICT 기반 공공서비스 촉진사업’ 과제로 선정되어 고용노동부와 근로복지공단이 주관하여 구축한 이 시스템은 산재 노동자에게 최적의 재할 서비스를 추천하여 산재노동자의 안정적인 일터 복귀를 가능하게 한다. 이는 산재 노동자의 직업 복귀 취약 정도를 산재보험과 고용보험 빅데이터를 기반으로한 인공지능(AI)이 산재 노동자의 나이, 직종, 고용형태 및 임금 등을 분석하여 판단하는 시스템이다. 이를 바탕으로 공단은 연간 발생하는 11만여명의 산재노동자에게 직업복귀에 필요한 서비스를 추천해 지원할 예정이다. 기존에 산재노동자와의 상담을 통해 공단 직원이 직접 필요한 재할서비스를 판단하던 방식에서 데이터 기반의 정확한 서비스 제공이 가능해졌다. 이정은(2020)에 따르면 “공단에서는 내 일 찾기 등 24종의 재할서비스를 사고부터 치료종결까지 시기별로 제공해 직업복귀의 장애요인을 조기에 극복할 수 있도록 맞춤형 서비스를 지원한다”.

〈표 4〉 지방자치단체 공공분야 빅데이터 활용사례

기관	활용사례
서울 성북구	빅데이터 기반 지역 경제 활성화 분석
서울 성동구	스마트 횡단보도 대상지 선정을 위한 빅데이터 분석
경기 평택시	민생경제 빅데이터 분석
경기 화성시	주·정차 단속 CCTV 관리 효율화를 위한 불법 주·정차 적발 분석
충북 청주시	무인민원발급기 이용현황 분석
부산 광역시	기상조건에 따른 시내버스 정류장 정시성 분석
광주광역시	도시안전 제고를 위한 취약지 분석
광주 북구	교통 안전 및 사고 예방대책 마련을 위한 교통사고 현황 빅데이터 분석
제주특별자치도	코로나 19 효과적 정책 대응을 위한 빅데이터 분석 활용

* 자료 : 한국지역정보개발원(2020)

지방자치단체도 디지털 혁신을 선도하며 공공분야에서 국민이 체감하는 스마트 공공서비스를 구현하기 위해 다양한 분야에서 빅데이터를 활용하고 있다. 또한 클라우드 인프라 확충 및 운영역량을 강화하고 과학적인 경영관리체계를 확립하기 위해 힘쓰고 있다. 지방자치단체의 공공분야 빅데이터 활용 사례는 〈표 4〉와 같다.

2. 국방부문 빅데이터 활용사례 분석

(1) 국내 국방분야 빅데이터 활용사례

국방부는 빅데이터를 장병 복지와 생활에 밀접한 안전·의료·인사·물자분야에 적용하여 맞춤형 서비스를 제공함으로써 장병 삶의 질을 개선하고, 교육훈련에 적용하여 축적된 데이터를 통해 효과적인 전투력 운용방법을 연구하고 발전시켜 개인 및 부대의 전투수행능력을 향상시키기 위해 노력하고 있다.

국방분야 빅데이터 활용 주요 사례로는 국방부 인건비 집행 빅데이터 예측 모델 개발 연구가 있다. 국방부의 인건비 관련 지속적인 노력에도 불구하고 불용액이 과다 발생하여 예산의 효율적인 사용을 위한 획기적인 방안의 필요성이 지속적으로 제기되었고, 이에 국방은 해당 예산에 대한 불용액 발생 원인을 식별하고 해결책을 제시할 수 있는 정확한 인건비 예측 모델을 개발하기 위해 연구를 진행하였다. 최근 수년간 실제 집행된 인건비 데이터와 군별·신분별·월별 평균 호봉 패턴을 분석하여 최적의 국방비 예산 편성 예측 모델을 개발하였고 이를 통해 급여편성 오차를 줄여 예산을 획기적으로 절감하였다.

두 번째 사례로 육군본부의 육군 훈련 및 부대운영과 관련한 빅데이터 활용방안 연구가 있다. 교육훈련과 부대운영 간 다양하고 대량의 데이터가 생성되나, 축척·통합·활용에 대한 인식이 부족하고 관련 체계가 없어 실질적인 데이터의 분석이나 정보제공이 제한되었다. 이를 보완하기 위하여 각종 교육훈련(사격, 각개전투, 독도법, 체력검정 등)과 부대운영 간 생성되는 데이터(육군훈련소 자동 신체계측기 측정결과, 훈련병 보급품 비용 및 수요 등)를 분석하고 활용 방안을 제시하였다. 이를 통해 다양한 정보체계로부터 생성·저장된 교육훈련 및 부대운영 관련 데이터를 통합해 가치 있게 사용할 수 있는 여건을 마련하여 국방경영의 효율화와 전투력 향상에 기여했다.

세 번째 사례로 국군의무사령부는 방대한 군 의료정보를 활용한 효과적인 의사결정과 군 복무기간 개인 진료기록, 건강검진 결과를 포함하는 의무기록 통합 관리를 통한 체계적인 건강관리 시스템을 구축하기 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 군복무 기간 의무기록 통합관리체계를 구축하고 영상 빅데이터를 활용하여 영상판독 및 진단지원 체계를 개발하여 질병의 조기진단 및 진단 정확성을 제고하고, 선제적이고 효과적인 질병예방을 가능하게 하였다. 그 외 군의 국방분야 빅데이터 분석연구 현황은 <표 5>와 같다.

<표 5> 국내 국방분야 빅데이터 분석연구 현황

사업주관 / 관리	연구과제명
국방부 000	국방분야 빅데이터 활용 연구
공군본부 000	AFCCS LBS/빅데이터기술 적용방안 연구
국방부 000	사건, 사고 예보 시스템 빅데이터 활용 연구
국방부 000	국방 빅데이터 공통 플랫폼 구축
국방부 000	빅데이터 기반 전장체계 정보관리 개념연구
국방부 000	빅데이터 활용 비행전술 개발지원 체계 개발
해군 000	군수업무 빅데이터 기술 적용 연구
국방부 000	다차원 감시정찰 정보자산 통합분석 및 관리 플랫폼 개발
국방부 000	사이버 공격 위험 예측체계 구축
국군 000	빅데이터 기반 약성코드 분석체계 구축
육군 000	빅데이터 기법 활용한 전투실험 자료구축, 적용방안
합참 000	의사결정 지원을 위한 빅데이터 활용방안 연구
국방부 000	인건비 집행 빅데이터 예측모델 시범사업
공군 000	국방기상 빅데이터 통합을 위한 정책연구
공군본부 000	국방기상 빅데이터 품질관리 및 자료동화 기술개발

(2) 해외 국방분야 빅데이터 활용사례

미 육군군수지원단(LOGSA, Logistic Support Activity)은 스트라이커 장갑차에 장착된 센서들로부터 수집되는 데이터를 분석하여 맞춤형 정비 스케줄을 개발하기 위해 IBM의 인공지능 왓슨(Watson)을 도입하였다. IBM은 미 육군에 왓슨의 인지컴퓨팅 플랫폼을 활용한 예방정비를 포함한 클라우드 서비스를 제공하며, 스트라이커 장갑차 부품의 공급망을 분석해 시간과 비용을 절감할 수 있는 최적의 수리부속 공급계획을 수립한다(신규용 등, 2019). 이를 통해 연간 100만불 가량의 비용을 절감하는 것으로 알려져 있다.

김성우 등(2014)에 따르면 미국은 1970년대부터 데이터의 중요성을 인식하여 수집 및 관리하고 1990년대 중반부터 각종 데이터를 유기적으로 통합, 관리, 분석하여 걸프전 이후 많은 전쟁과 전투에서 그 효과를 보고 있다. 미국의 체계적인 데이터 수집 및 관리를 위한 대표적인 전담 조직으로는 미 육군의 교육사령부(TRADOC, Training and Doctrine Command) 예하 전훈분석센터(CALL, Center for Army Lessons Learned)이 있다. CALL은 모든 영역의 군사작전 지원을 위해 전 세계 각 작전지역이나 전투훈련장에서 도출된 전술, 군사기술 등을 축적하는 임무를 수행한다. <표 6>은 CALL 수집데이터를 분류한 내용이다.

〈표 6〉 CALL 수집데이터 분류

구 분	내 용
지휘통제 분야	개인 메모, 중요인물 브리핑, 지휘관 주도 작전, 지휘부 회의 기록 등
작전 분야	전투보고, 전투평가, 작전 전훈, 작전 명령, 하위 명령, 표적 목록과 타격 수단, 전술 계획, 지휘관 고려사항 등
인사 분야	인원자료, 수훈 병사/부대추천, 사상자 보고, 지휘부 명단 등
정보 분야	지형정보, 일별 정보, 전술 정보 팀 보고, 지형분석, 적의 전투 명령과 인물 보고서, 전투 피해 평가 등
군수 분야	장비 상태 및 준비율, 보급 소요, 신 장비 운용이력, 전투 중 중요 장비의 파손/손실 등
민사작전 분야	지역주민성향, 시가지 평가, 지역 조사 보고, 일일/주간/월간/ 민군 전술 상황 보고 갱신 등
연합전력 분야	타 국가의 훈련, 부대, 인원, 작전, 장비, 군수 등 보고서

* 자료 : 김성우 등(2014)

III. 국방 빅데이터 관리체계의 발전방안 연구

과학전문지 네이처에서 빅데이터를 향후 10년 안에 세상을 바꿀 가장 중요한 기술로 선정한 것을 입증하듯 빅데이터는 그 유용성과 가치 창출의 효과를 바탕으로 많은 공공 및 민간분야에서 활용되고 있다. 이에 발맞추어 우리 군도 빅데이터에 기반한 스마트 국방혁신을 추진하고 있으며, 자료 보존에 대한 요구사항과 IT 기술의 발달과 함께 의료, 교육훈련, 군수, 인사 등 다양한 분야에서 빅데이터를 수집·보관하고 있다. 그러나 데이터를 국가 전략적 자산으로 인식하고 새로운 가치 창출에 매진하는 국내·외 민간분야 또는 국외 군사분야와 비교할 때 한국군의 빅데이터 활용 범위는 매우 제한적이며, 가치 창출의 효과 또한 미비한 실정이다.

본 연구에서는 국방 빅데이터 관리의 현 실태를 분석하고, 국방 빅데이터의 통합관리, 분석기술, 정책 및 제도 등 국방 빅데이터의 효율적인 활용을 위한 발전방안을 제시하였다.

1. 국방 빅데이터 관리체계의 현 실태 분석

(1) 국방 빅데이터 수집/저장 측면

군은 조직의 특성상 부대운영, 교육훈련, 경계작전 등 다양한 분야에서 임무 수행 간 생성되는 국방자료를 보관·관리하는데 익숙하며, 최근에는 공공 및 민간부문의 사례와 같이 데이터베이스 기술의 급속적인 발전과 더불어 국방의 다양한 분야에서 빅데이터가 수집, 저장되고 있다. 조재규(2020)는 한국군이 빅데이터를 수집, 관리하고 있는 기반 체계를 <표 7>과 같이 분야별로 제시하였다.

이처럼 국방 빅데이터는 전장관리, 군수, 인사 등 다양한 분야에서 수집되고 있으며, 이러한 데이터는 체계적인 관리와 분석처리를 통해 국방정책 수립, 부대관리 개선, 군수 효율화 등 다양한 분야에서 새로운 가치를 창출할 수 있을 것이다. 그러나 한국군은 빅데이터 기반 체계를 구축하고 있음에도 불구하고 이를 관리하고 분석처리하기 위한 제도와 조직, 인력, 예산 등이 매우 미비한 실정이다. 그 결과 데이터로써 분석할 충분한 가치가 있는 대용량의 데이터를 체계적으로 관리하지 못하고 방치 또는 폐기하거나, 분석을 하더라도 유용한 가치 정보를 도출하지 못하고 있는 실정이다.

〈표 7〉 국방 분야별 빅데이터 관리 체계

구 분	체계 기반
국방 M&S 체계	<ul style="list-style-type: none"> 과학과전투훈련체계(KCTC) 창조21모델 <ul style="list-style-type: none"> 화랑21모델 전투21모델 전승21모델 <ul style="list-style-type: none"> 청해모델 천자봉모델 지상군자원소요산정분석모델 <ul style="list-style-type: none"> 비전21모델 합동작전분석모델 등
자원관리정보체계	<ul style="list-style-type: none"> 조직정원관리시스템 국방통합인사정보체계 국방의료정보체계 국방수송정보체계 국방시설통합정보체계 등 국방통합재정정보체계 국방동원정보체계 군수통합정보체계 국방전자조달체계
전장관리정보체계	<ul style="list-style-type: none"> 군사정보통합처리체계(MIMS) 군사지리정보체계(MGIS) 연합지휘통제체계(AKJCCS) 합동지휘통제체계(KJCCS) 지상전술 C4I 체계(ATCIS) 해군전술 C4I 체계(KNCCS) 공군전술 C4I 체계(AFCCS) 전구합동화력운용체계(JFOS-K) 해군전술자료처리체계(KNTDS) 공군자동화방공체계(MCRC) 연합군사정보유통체계(MIMS-C) 등
기타	<ul style="list-style-type: none"> 온-나라 시스템 국방 전자결재체계 등

* 자료 : 조재규 (2020)

(2) 국방 빅데이터 분석기술 측면

빅데이터란 일반적인 데이터베이스 기술로 저장, 관리, 분석할 수 있는 범위를 초과하는 방대한 규모의 데이터를 의미하며, 데이터를 처리하고 분석할 수 없으면 빅데이터는 많은 양의 데이터 더미에 불과하다. 구슬이 서 말이라도 꿰어야 보배가 되듯이 빅데이터는 분석 처리의 과정을 거쳐야만 의사결정자에게 올바른 가치와 정보를 제공할 수 있다.

빅데이터의 분석처리는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 일반적으로 수집, 저장, 처리, 분석의 과정을 거치며, 이를 위해 과정별로 다양한 영역에서의 기술이 필요하다. 예를 들어, 데이터 수집과정에서는 크롤링(crawling), 추출, 변환, 적재(extract, transform, load, ETL)의 기술이 필요하고, 다양한 형태의 빅데이터를 저장하고 처리하기 위하여 NoSQL, 하둡 등의 빅데이터 분석 인프라 기술이 필요하다. 나아가 빅데이터를 분석하고 표현하기 위해서는 머신러닝, 패턴인식, 데이터마이닝, 텍스트마이닝, 클러스터분석 등 분석목적에 따라 다양한 분석기법이 필요하다.



〈그림 4〉 빅데이터 처리 과정

* 자료 : 문혜정 (2012)

빅데이터 분석을 위한 과정별 처리내용과 분석에 필요한 솔루션은 <표 8>와 같으며, 빅데이터 분석에 사용되는 주요 기법은 <표 9>과 같이 요약될 수 있다. 이처럼 빅데이터로부터 유용한 가치를 도출하기 위해서는 많은 인프라와 전문인력이 필요하다. 그러나 아직까지 국방 분야의 다양한 빅데이터를 저장하고 처리하기 위한 분석도구와 데이터를 통합적으로 관리할 수 있는 인프라의 도입이 미흡하고, 머신러닝, 패턴인식, 데이터마이닝, 강화학습, 딥러닝 등 다양한 분석기법을 활용할 수 있는 전문인력도 매우 부족한 실정이다.

〈표 8〉 빅데이터 활용에 필요한 솔루션

구분	내 용	솔루션
수집	<ul style="list-style-type: none"> 외부 데이터(눈, 뉴스, 웹) 검색/수집 및 인덱스 RDBMS에서 관리되는 정형 데이터 수집 XML, HTML 등 반정형 데이터 수집 파일 문서 등 비정형 데이터 수집 센서 데이터/실시간 스트림 데이터 수집 	Nutch, Lucene Sqoop, Flume, Chukwa, Kafka, Storm
저장	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 파일 데이터 분산 저장 NoSQL(Key, Value 저장) 데이터베이스 저장 	HDFS, Hbase, Cassandra, MongoDB
가공	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 데이터 분석을 위한 분산 처리 데이터 추출, 변환, 적재 로그 데이터 처리 	Sqoop, MapReduce, Spark, Flume, Hbase, Hive Pig, Tajo

구분	내 용	솔루션
분석	<ul style="list-style-type: none"> 전체 또는 부분 데이터에 대해 복잡, 다양한 분석 데이터 수집과 동시에 분석 수행 대용량 실시간 스트리밍 분석 메모리 기반 데이터 분석 	R, Weka, MLlib, Mahout, ankus, Library, TensorFlow, Impala, Presto, Phoneix
시각화	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 분석 결과 시각화 관리현황 대쉬보드(모니터링) 이미지 데이터 분석 결과 시각화 	D3, Zeppelin, Ploty, Tensorboard, N3N
활용	<ul style="list-style-type: none"> OpenAPI를 통해 데이터를 제공받아 서비스 적용 시각화면 연계 화면 페이지단위 외부 연계제공 	Open API(REST)
운영	<ul style="list-style-type: none"> 여러 단계에 걸쳐 처리되는 분석 작업의 흐름을 관리하고 정기/비정기적 분석 작업 스케줄링 보안 및 접근권한 관리 분산 서버 리소스 및 작업들을 관리하는 모니터링 	Oozie, Zookeeper, Hcatalog, Ranger, Ambari

* 자료 : 김재현 (2019)

〈표 9〉 주요 빅데이터 분석기법

영역	빅데이터 분석 기술
NDAP (NexR Data Analytics Platform)	데이터 형태와 관계없이 모든 데이터의 수집, 처리, 저장, 분석 등과 관련한 모든 엔드투엔드 서비스를 제공하는 플랫폼
기계학습 (machine learning)	인공지능의 한 분야로 패턴인식 등 컴퓨터가 학습할 수 있도록 알고리즘과 기술을 개발
네트워크 (network)	개인 또는 집단이 하나의 노드가 되어 각 노드들 간의 상호 의존적인 관계에서 만들어지는 관계구조
시맨틱 웹 (Semantic Web)	분산 환경에서 리소스에 대한 정보와 자원 간의 관계 및 의미 정보를 온톨로지 형태로 표현하고 이를 자동화 처리가 가능하도록 하는 프레임워크
온톨로지 (ontology)	도메인 내에서 공유하는 데이터들을 개념화하고 명시적으로 정의한 기술
패턴인식 (pattern recognition)	데이터로부터 중요한 특징이나 속성을 추출하여 입력 데이터를 식별할 수 있도록 분류하는 기법
데이터 마이닝 (data mining)	대용량의 데이터, 데이터베이스 등에서 감춰진 지식, 새로운 규칙 등의 유용한 정보를 패턴인식, 인공지능 기법 등을 이용하여 데이터 간의 상호 관련성 및 유용한 정보를 추출하는 기법
텍스트 마이닝 (text mining)	자연어로 구성된 비정형 텍스트 데이터에서 패턴 또는 관계를 추출하여 가치와 의미있는 정보를 찾아내는 기법
웹마이닝 (web mining)	인터넷상에서 수집된 정보를 데이터마이닝 기법으로 분석 통합하는 기법
소셜 네트워크 분석 (social network analysis)	thuf 미디어를 언어분석 기반 정보추출을 통해 이슈를 탐지하고 흐름이나 패턴 등의 향후 추이를 분석하는 기법
클러스터 분석 (cluster analysis)	관심과 취미에 따른 유사성을 정의하여 비슷한 특성의 개체들을 합쳐 서로 다른 그룹의 유사특성을 발굴하는 기법
통계적 분석 (statistical analysis)	주로 수치형 데이터에 대하여 확률을 기반으로 어떤 현상의 추정, 예측을 검증하는 기법

영역	빅데이터 분석 기술
음성인식 (speech analysis)	사람의 음성을 컴퓨터가 해석하여 그 내용을 문자 데이터로 전환하는 처리 기법
영상인식 (vision recognition)	객체 인식 기술을 이용하여 추출된 전자적 데이터를 여러 목적에 따른 알고리즘을 적용하여 정보를 처리하는 기법

* 자료 : 송태민과 송주영 (2015)

(3) 국방 빅데이터 활용 여건 측면

앞서 설명한 <표 7>에서처럼 국방 빅데이터는 다양한 분야에서 실시간으로 수집, 저장되고 있으며, 이러한 국방 빅데이터들은 올바른 처리와 분석을 통해 유용한 가치를 지휘관 및 참모에게 제공하여 정책 결정에 도움을 줄 수 있다. 그러나 이러한 국방 빅데이터는 실시간으로 쌓여가는 가지만, 분석을 필요로 하는 분석가들에게는 실시간적으로 제공이 되지 못하는 실정이다. 즉, 분석에 필요한 빅데이터가 어디에 있고, 어떤 형태로 저장되어 있는지, 그리고 데이터를 활용하기 위해서는 어떤 절차에 의해 획득 가능한지 식별조차 어려운 실정이다.

또한, 국방부 예하 각 기관에서 생성되고 있는 대부분의 자료들은 군사기밀의 자료로 수집되고 있으며 군사보안 유지를 위해 공개 및 공유가 매우 제한적이다. 이러한 국방 빅데이터는 국방 전략수립 및 다양한 정책 결정에 유용하게 활용될 수 있는 반면, 잘못 유출되어 악용될 경우에는 국가안보에 치명적인 위협을 가할 수 있다. 이러한 이유로 각 분야 별 국방 빅데이터 담당자들은 데이터의 제공에 대해 매우 소극적인 자세를 유지한다.

(4) 국방 빅데이터 정책/제도적 측면

국방 공공데이터 제공 훈령은 「공공데이터의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」에 근거하여 국방기관의 공공 데이터를 제공하는데 필요한 사항을 규정하기 위하여 2014년 제정된 이래 2021년 2월까지 총 3회의 부분개정이 진행되었다. 국방 공공데이터 제공 훈령 상에는 국민의 공공데이터에 대한 이용권을 보장하고 공공데이터의 민간 활용 등을 위하여 공공 데이터를 적극적으로 제공하고 공유해야 함을 강조하고 있다. 그러나 군사 기밀사항에 대해서는 예외 조항을 두고 있으며, 이러한 이유로 각 부서에서는 데이터의 제공을 꺼려하고 있다. 특히, 국방정보화 기반조성 및 국방정보 자원관리에 관한 법률(법률 제12553), 국방 보안업무훈령 등 국방 데이터의 보관 및 제공과 관련된 각종 법률과 훈령, 제도, 지침 등은 데이터의 제공과 효율적인 활용보다는 보호 중심으로 규정되어 있는 실정이다. 따라서 특정 국방 데이터의 활용을 위해 데이터를 제공 받기 위해서는 매우 복잡한 절차를 거쳐야 하는 경우가 많으며, 이러한 복잡한 제도와 절차는 국방 빅데이터의 활성화에 제한요소로 작용하고 있다.

2. 국방 빅데이터 관리체계의 발전방향

(1) 국방 빅데이터 통합 구축 측면

데이터 분석으로부터 유용한 정보를 도출하기 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 양질의 데이터를 확보하는 것이다. 음식을 만들 때 제공된 재료가 좋지 못하면 최고의 레시피로 만든 음식이라 하더라도 그 음식은 좋은 평가를 받을 수 없는 것과 마찬가지로, 최고의 분석 툴과 기술을 이용하여 데이터 분석을 하더라도 제공되는 데이터가 저품질이면 이로부터 도출되는 정보는 신뢰하기 어렵다.

〈표 10〉 빅데이터 분야별 활용방안

분 야	내 용
전장관리	1. KCTC 데이터 활용 <ul style="list-style-type: none"> 1) 공격작전의 승리요인 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 주요내용 : 효과측정도구 개발 - 분석기법 : 다변량 회귀분석, PLS, Group Lasso 적용 등 2) 부대 전투력 운용패턴 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 분석방법 : 데이터 푸리에 변환후 SOM 방법 적용 등 3) 전투원의 생존분석 <ul style="list-style-type: none"> - 분석방법 : Cox 비례위험모형, 로지스틱 회귀분석 등 4) 사격훈련 효과검증 <ul style="list-style-type: none"> - 분석방법 : LDA, QDA, 군집분석 등 2. 군사정보통합처리체계(MIMS) C4I체계 활용 <ul style="list-style-type: none"> 1) C4I 데이터를 통한 이동패턴분석 2) MIMS 분리 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 1)과 2)로부터 대응 시나리오 최적화 분석, Simulation등
인사분야	1. NDEMIS(또는 구DEMIS), 국방 의료정보체계 <ul style="list-style-type: none"> 1) 맞춤형 의료서비스 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 주요내용 : 증상별, 신체부위별, 유발환경별 데이터 분류분석 - 분석기법 : SVM, DNN, Decision Tree 등 2) 해외파병자 의료관리 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 주요내용 및 분석기법 : 맞춤형 의료서비스 분석과 유사
군수분야	1. 장비정비정보체계(DELIIS) <ul style="list-style-type: none"> 1) 장비수요 및 장비유지 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 주요내용 : DELIIS를 활용 장비의 고장원인 분석 - 분석기법 : 다변량 회귀분석, PLS 등 2) 계절성, 부대운영 환경별 정비소요, 부품소요 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 분석기법 : Markov-Chain 방법, 재고모형 예측 방법 등 2. 해군전술자료처리체계, 해군 C4I, 국방 물자정보체계 <ul style="list-style-type: none"> 1) 에너지 수요/관리 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 주요내용 : 장비 운행일자, 운행거리, 속도 vs. 유류소비량 분석 - 분석기법 : 시계열 분석, 대기행렬 모형 등

* 자료 : 김성우 등 (2014)

최근 정부는 디지털 뉴딜사업의 핵심 분야로 데이터 댐을 구축하기 위해 많은 노력을 하고 있다. 댐에 저장된 물이 수력발전에도 이용되듯, 데이터 댐에 저장된 빅데이터는 5G, 인공지능 기술과 결합하여 국가 산업 전반에서 유용한 정보를 제공할 것이다. 이처럼 양질의 데이터는 국방 빅데이터 분석에서도 반드시 필요한 요소이며, 이를 위해서는 다양한 체계의 데이터들이 통합, 관리되어야 한다. <표 7>에서 설명한 국방 빅데이터 관리체계로부터 수집되는 데이터는 김성우 등(2014)이 제시한 <표 10>에서와 같은 방법으로 다양한 분석에 활용될 수 있다. 그러나 이러한 분석은 각각의 체계 내에서 수집된 한정된 데이터만 분석에 활용하므로 그 분석 결과 또한 제한적인 가치와 정보만을 제공하게 되어 국방정책에 활용하기에는 부족하다.

<표 11>은 개별적으로 수집되는 국방 빅데이터 관리체계의 데이터 형태에 대한 예시이며, 특정 개체(ID)로부터 생성되는 정보는 각각의 국방 빅데이터 관리체계에 독립적으로 수집, 저장되고 있다. 예를 들면, 특정 전투원의 병영생활 정보는 연대행정업무 통합관리체계에, 의료 정보는 국방 의료정보체계에, 훈련 정보는 과학과 전투훈련체계에 독립적으로 기록 유지된다. 이러한 데이터들은 일반적으로 서로 유기적인 관련성이 있으며, 하나로 통합되어 분석될 때 유용한 정보를 도출할 수 있다. 즉, 병영생활 정보, 의료 정보, 훈련 정보는 상호 관련성이 높은 자료들이며 <표 12>에서와 같이 하나의 특정 ID로 통합된 빅데이터로 수집되고 분석되어야 올바른 정보와 가치를 생성할 수 있을 것이다.

<표 11> 분야별 국방 빅데이터 형태(예시)

연대행정업무 통합관리체계				국방 인사정보체계			국방 의료정보체계				과학화 전투훈련		
ID	X1	X2	X3	ID	X1	X2	ID	X1	X2	X3	ID	X1	X2
1				7			3				4		
2				9			12				9		
3				3			4				22		
4				5			33				44		
5				2			6				32		
.				.			.				.		
.				.			.				.		
.				.			.				.		

〈표 12〉 통합 국방 빅데이터 형태(예시)

ID	연대행정업무 통합관리체계			국방 인사정보체계		국방 의료정보체계			과학화 전투훈련	
	X11	X12	X13	X21	X22	X31	X32	X33	X41	X42
1										
2										
3										
4										
5										
...										

(2) 국방 빅데이터 분석기술 측면

앞서 설명한 바와 같이 수집된 국방 빅데이터로부터 유용한 가치를 도출하기 위해서는 이를 분석, 처리할 수 있는 많은 인프라와 전문인력이 필요하다. 여러 곳에 분산, 보관되어 있는 데이터들을 동시에 통합적으로 관리할 수 있는 데이터베이스와 하둡, NoSQL 등 빅데이터 처리 인프라, 딥러닝, 데이터 마이닝 등 빅데이터 분석을 위한 컴퓨팅 인프라의 구축이 필요하다.

빅데이터 처리에 요구되는 컴퓨팅 인프라의 수준은 처리되는 데이터의 양에 비례할 것이다. 즉, 많은 양의 데이터를 처리하기 위해서는 수준 높은 컴퓨팅 인프라가 요구되어지는 것이 당연하다. 국방 빅데이터 분석을 위해 국방전산원 등 일부 관련 부서에서 빅데이터 분석 플랫폼을 구축하여 운영 중에 있다. 그러나 이러한 빅데이터 분석 인프라는 정형화된 특정 빅데이터의 분석에는 활용 가능하나, 실시간으로 수집되는 방대한 양의 국방 빅데이터를 분석하기에는 제한될 것으로 판단된다. 예를 들어, 해안경계작전에 활용되고 있는 레이더 감시장비는 수 초 단위로 감시 신호정보를 전송하고 있으며, 이렇게 수집되는 연간 데이터의 양은 상상을 초월할 정도로 방대하다. 따라서, 한 번 구축된 컴퓨팅 인프라의 수준을 넘어서는 방대한 양의 빅데이터를 분석할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 실시간으로 데이터 스트림의 형태로 수집되는 방대한 양의 국방 빅데이터를 처리하기 위한 하나의 방안으로 본 연구에서는 분할정복 알고리즘을 데이터 분석에 활용할 것을 제안하였으며, 구체적인 알고리즘은 4장의 연구내용을 참고하기 바란다.

(3) 국방 빅데이터 활용 여건, 정책/제도적 측면

국방 빅데이터 분석을 활성화하고 이로부터 유용한 정보와 가치를 도출하기 위해서는 국방 데이터의 원활한 제공이 선행되어야 한다. 이를 위해 데이터 생성 및 관리를 담당하는 부서에서는 데이터 통합 및 분석을 위한 데이터 요구 시 관련 규정에 따라 데이터 제공을

의무화하고, 개인정보, 군사정보 등 제공이 불가한 자료의 목록을 명확히 구분하여 명시하여야 한다. 이러한 국방 빅데이터의 제공, 생성 및 활용에 대해서는 국방 공공데이터 제공 훈령에서부터 데이터 관리부서의 행정예규까지 제반 규정을 체계적으로 마련하여야 할 것이다. 또한, 실시간으로 생성, 수집되고 있는 다양한 종류의 국방 빅데이터를 쉽게 검색하고 확인할 수 있는 데이터 지도를 구축하여 가시화함으로써 필요한 데이터를 적시적으로 사용할 수 있는 여건을 마련해야 할 것이다.

IV. 국방 빅데이터 분석처리 기술 연구

국방 분야에서 수집, 저장되는 빅데이터는 관리체계별로 독립적으로 수집되므로 데이터의 통합관리 및 처리가 어려우며, 보안상의 문제로 군내에서 보유하는 제한된 컴퓨팅 인프라로 분석처리 되어야만 한다. 특히 국방 빅데이터는 상당히 불균형적으로 수집, 관리되어 기존의 분석기법을 그대로 적용하는 것은 제한된다. 예를 들어, 훈련 간 안전사고 예측모델을 학습시키고자 할 때에는 안전사고 발생 건수와 미발생 건수가 균형적으로 수집된 빅데이터가 필요하지만, 대부분의 국방 빅데이터는 미발생의 건수가 매우 많은 편향된 자료이다.

본 연구에서는 국방 빅데이터의 특수성을 고려한 빅데이터 처리 및 분석기법에 관한 새로운 기술 개발에 대하여 연구하였다. 특히 보안이 요구되는 국방 빅데이터를 군내 제한된 컴퓨팅 인프라로 처리하는 기술과 불균형적으로 수집된 국방 빅데이터를 분석하는 기술에 대하여 중점적으로 연구를 진행하였다.

1. 군내 제한된 컴퓨팅 인프라를 이용한 국방 빅데이터 처리기술 연구

(1) 현 상황

빅데이터의 활용과 그 효용성이 증가하면서 빅데이터를 저장하고 이를 분석 처리하기 위한 기술 개발이 이슈가 되고 있으며, 이 중에서도 빅데이터의 효율적인 저장과 신속한 분석에 필요한 고성능 컴퓨팅(high performance computing) 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 빅데이터 활용에 필요한 대표적인 기술로는 구글에서 개발한 GFS(google file system)와 맵리듀스(MapReduce)가 있으며, 이를 기반으로 아파치 재단에 의해 개발된 하둡(Hadoop) 등이 있다. 빅데이터는 방대한 규모의 양과 다양성으로 인하여 매우 복잡하게 수집되기 때문에 NP-hard(non deterministic polynomial-hard)의 문제로 간주되며,

NP-hard는 특별한 다항식으로 식을 해결 할 수 없는 아주 어려운 문제이다. 따라서 빅데이터의 처리와 분석을 위한 다양한 해결 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

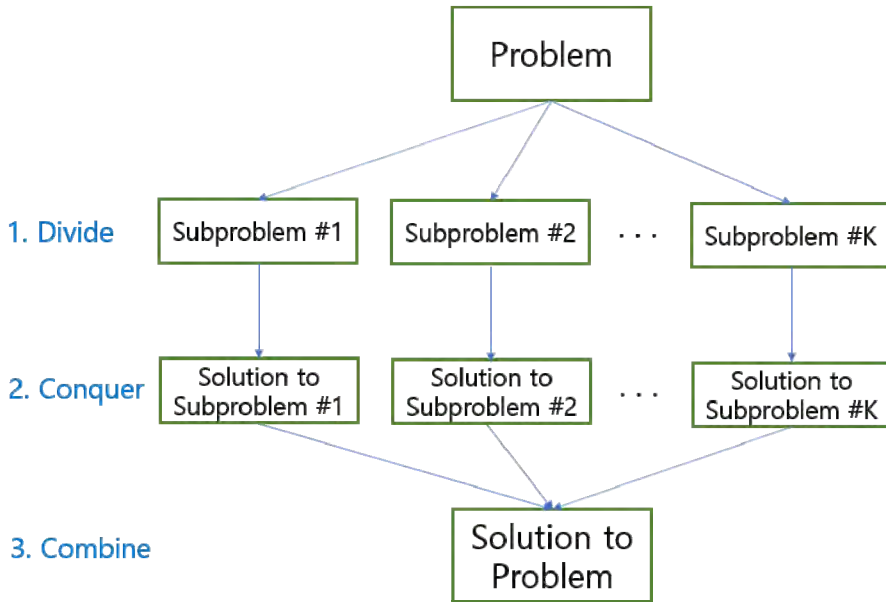
최근 IT기술의 발전과 자료수집 및 보관의 필요성에 대한 요구사항으로 국방의 다양한 분야에서 새로운 유형의 빅데이터가 생성, 수집 및 저장되고 있다. 그러나 이러한 국방 빅데이터의 출현은 기존의 많은 데이터 분석기법의 직접적인 적용을 불가능하게 하고 있다. 특히, 국방 빅데이터는 많은 경우 보안상의 문제로 외부 공개가 제한되어 군내의 메모리 능력이 제한된 컴퓨팅 인프라로 분석 처리되어야 하며, 이러한 경우 많은 계산비용으로 인하여 사실상 분석 불가능한 경우가 빈번히 발생하게 된다. 따라서 제한된 컴퓨팅 능력으로 빅데이터를 분석할 수 있는 새로운 기술에 대한 연구가 필요하며, 본 연구에서는 분할정복 알고리즘을 활용한 분석기법을 연구하였다.

(2) 분할정복 알고리즘 소개

군내의 제한된 컴퓨팅 인프라로 국방 빅데이터를 처리하는 방법 중 하나는 분할정복(divide and conquer) 알고리즘을 기존의 전통적인 데이터 분석기법에 활용하는 것이다. 분할정복 알고리즘은 먼저 전체 빅데이터를 분할(divide)한 후 분할된 자료의 분석결과를 통합(conquer or merge)하는 기법으로 컴퓨터과학 분야에서 널리 사용되고 있으며, 최근에는 빅데이터의 분석을 위해 기존의 전통적인 데이터 분석 방법론에 활용되고 있다.

분할정복이라는 용어는 1805년 12월 2일 아우스터리츠 전투(battle of austerlitz)에서 프랑스의 황제 나폴레옹이 사용한 전략에서 유래되었다. 당시 오스트리아-러시아 연합군의 전력은 프랑스군에 비해 월등히 우수하였다. 이러한 수적 열세를 극복하기 위해 나폴레옹은 연합군의 중앙을 기습하여 그들의 병력을 둘로 갈라놓은 후(divide), 둘로 나뉜 연합군의 병력을 각개 격파하여(conquer) 전투에서 승리할 수 있었다. 이러한 분할정복 전략은 매우 유사한 방법으로 문제 해결을 위한 컴퓨팅 알고리즘에 적용되었다. 분할정복 알고리즘은 주어진 문제를 두 개 이상의 작은 문제들로 순환적으로 분할하고, 이렇게 분할된 작은 문제들을 각각 해결한 후 이들의 해를 결합하여 원래의 문제를 해결 방식으로 일반적으로 <그림 5>와 같은 3단계의 절차를 통해 이루어 진다(이관용과 김진욱, 2018).

- 1단계 - 분할(divide) : 주어진 문제의 입력을 여겨 개의 작은 문제로 분할한다.
- 2단계 - 정복(conquer) : 작은 문제들을 순환적으로 분할한다. 만약 작은 문제가 더 이상 분할되지 않을 정도로 충분히 작다면 순환호출 없이 작은 문제의 해를 구한다.
- 3단계 - 결합(combine) : 작은 문제에 대해 정복된 해를 결합하여 원래 문제의 해를 구한다.



〈그림 5〉 분할정복 알고리즘의 절차

(3) 분할정복 알고리즘을 활용한 국방 빅데이터의 회귀분석 기술 연구

회귀분석(regression analysis)은 설명변수(또는 독립변수)라고 불리는 한 개 또는 그 이상의 변수들에 대하여 반응변수(또는 종속변수)라고 불리는 다른 한 변수 사이의 관계를 수학적 모형에 의하여 규명하고, 이러한 모형을 이용하여 설명변수들의 변화로부터 반응변수의 변화를 예측하고자 하는 경우에 사용되는 자료 분석기법이다. 일반적으로 회귀분석은 설명변수와 반응변수가 각각 한 개일 때의 관계를 분석하는 단순선형 회귀분석(simple linear regression analysis)과 반응변수는 한 개이면서 독립변수가 두 개 이상일 때의 관계를 분석하는 다중선형 회귀분석(multiple linear regression analysis)으로 나뉘어진다.

국방 빅데이터의 회귀분석 목적은 많은 경우 주요 관심사인 반응변수에 영향을 미치는 중요한 설명변수를 찾고, 이러한 설명변수들이 어떻게 반응변수의 변화에 작용하는지를 분석하여 향후 정책결정 과정에서 올바른 의사결정을 하기 위함이다. 일반적으로 중요한 설명변수를 찾기 위하여 단계적 변수선택법(stepwise variable selection)이 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 과대적합의 문제도 함께 해결하는 축소추정법이 활발히 연구되어 개발되었다. 따라서 본 연구에서는 먼저 국방자료의 회귀분석에서 활용 가능한 다양한 선형 및 비선형 회귀분석 기술을 소개하고, 나아가 국방 빅데이터 분석을 위한 분할정복 알고리즘의 활용방안을 제시하기로 한다.

① 국방 데이터 분석에 활용 가능한 선형 회귀분석 기술 소개

p 차원 설명변수 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_p)'$ 와 1차원 반응변수 $y \in R$ 로 이루어진 크기가 N 인 데이터 $\{\mathbf{x}_i, y_i\}_{i=1}^N$ 에 대하여 다음의 선형회귀모형

$$y = x_1\beta_1 + \dots + x_p\beta_p + \epsilon$$

을 고려하자. (편의상, 설명변수들은 중심화(centering)되었다고 가정하자.) 이 때, 제곱 손실함수를 이용한 최소제곱추정법(least square estimation, LSE)은 일반적으로 널리 알려진 회귀계수의 추정방법으로

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}^{LSE} = \arg \min_{\boldsymbol{\beta}} \sum_{i=1}^N (y_i - \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta})^2$$

으로 주어진다. 단, $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_p)'$ 이며 $\epsilon \sim F_{\epsilon}$ 은 오차를 나타낸다.

제곱 손실함수에 기반한 회귀모형의 적합에서 축소 추정방법을 이용한 변수선택의 문제는 최근 많은 관심과 더불어 지속적인 연구가 진행 중이며, 대표적으로 Lasso(Tibshirani, 1996), SCAD(Fan and Li, 2001), Adaptive Lasso(Zou, 2006) 등의 방법론이 개발되었다. 축소추정에 관한 연구는 위치모수의 추정문제를 다루는 Stein의 추정법(Stein's estimation)(Stein, 1955; James and Stein, 1961)에서부터 시작되었다. 회귀모형의 회귀계수 추정과 관련해서는 능형(ridge) 회귀모형(Hoerl and Kennard, 1970)이 축소추정에 관한 연구의 시발점이라 할 수 있으며, 이는 Stein의 추정법이 회귀모형으로 확장된 방법론이라고 할 수 있다(Gruber, 1998, p. 104; Kubokawa and Srivastava, 2002). 능형(ridge) 회귀모형은 제곱 손실함수에 L_2 norm 형태의 벌칙함수를 추가함으로써 설명변수들 사이의 다중공선성(multi collinearity) 문제와 과대적합의 문제를 고려한 모형적합이 가능하나 적절한 설명변수의 선택과 관련해서는 그 효율성이 제한된다. 따라서 최근에는 다중공선성 및 과대적합의 문제와 변수선택의 기능을 동시에 고려하는 축소추정법에 관하여 많은 관심과 더불어 지속적인 연구가 진행 중이며, 대표적으로 Lasso (Tibshirani, 1996), SCAD(Fan and Li, 2001), Adaptive Lasso(Zou, 2006), Sup-norm 벌칙함수를 이용한 축소 추정법(Turlach et al., 2005), Group Lasso(Yuan and Lin, 2006), Adaptive Group Lasso(Wang and Leng, 2008) 등이 있다. 가령, Lasso의 경우 회귀계수의 축소추정(shrinkage estimate)은

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}^{Lasso} = \arg \min_{\boldsymbol{\beta}} \sum_{i=1}^N (y_i - \mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta})^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j|$$

와 같이 회귀계수벡터 β 에 대한 벌칙함수(penalty function)를 통해 공식화되고, 이는 회귀계수에 제약(constraints)을 두는 것과 같은 결과를 제공한다.

제곱 손실함수를 사용한 선형회귀 모형은 계산상의 이점 등에 힘입어 보편적으로 이용되고 있으나, 비교적 강한 가정 하에서의 이론에 근거하므로 통계적 강건성(robustness)의 결핍은 물론 최적성(optimality)의 측면에서도 제한적인 경우가 많다. 특히 이상치(outlier)가 존재하거나 꼬리가 두꺼운 오차항의 분포에서는 전통적인 최소제곱추정법(LSE)은 그 신뢰도(reliability)가 떨어진다. 이런 경우 절대 손실함수(absolute loss function)를 사용한 최소절대추정법(least absolute estimation, LAE)은 매우 유용하며 제곱 손실함수에 비해 강건한(robust)한 결과를 제공한다(Wang et al., 2007; Xu and Ying, 2008). 또한 Koenker and Bassett(1978)은 check 손실함수를 사용하여 최소절대추정법(LAE)을 일반화한 분위수 회귀모형(quantile regression, QR)을 제시하였으며 분위수 회귀모형(QR)은 회귀계수 추정의 강건성(robustness)과 유용성을 바탕으로 의학(Cole and Green 1992; Heagerty and Pepe 1999), 경제(Hendricks and Koenker 1992; Koenker and Hallock 2001), 생존분석(Yang 1999; Koenker and Geling 2001), microarray 연구(Wang and He, 2007) 등 여러 다양한 분야에 적용되고 있다. 여기서 절대 손실함수를 이용한 최소절대추정법(LAE)은 check 손실함수의 특별한 경우로 중위수 회귀모형(median regression)에 해당된다.

분위수 회귀모형(quantile regression(QR) 또는 conditional $100\tau\%$ quantile of $y|\mathbf{x}$)은

$$y = x_1\beta_1 + \dots + x_p\beta_p + b_\tau, \quad b_\tau = F_\epsilon^{-1}(\tau)$$

와 같이 정의되며, 분위수 회귀모형(QR)의 회귀계수는 check 손실함수 $\rho_\tau(\cdot)$ 를 이용하여

$$(\hat{b}_\tau, \hat{\beta})^{QR} = \arg \min_{b, \beta} \sum_{i=1}^N \rho_\tau(y_i - b - \mathbf{x}_i' \beta)$$

와 같이 추정된다(Koenker, 2005). 회귀모형의 적합에서 축소 추정방법을 이용한 변수선택의 문제는 제곱 손실함수를 이용한 회귀모형뿐 아니라, check 손실함수를 이용한 분위수 회귀모형(QR)에서도 활발한 연구가 진행되고 있다. Koenker(2004), Li and Zhu(2008), Zou and Yuan(2008a), Wu and Liu(2009) 등은 Lasso, Adaptive Lasso, SCAD 형태의 벌칙함수를 추가하여 분위수 함수의 회귀계수를 축소 추정하는 방법을 다루었으며, Wang et al.(2007)과 Xu and Ying(2008)은 강건한 회귀모형으로 알려진 중위수 회귀모형의 적합에 Lasso 및 Adaptive Lasso 형태의 벌칙함수를 이용하였다. 예를 들어 Lasso

형태의 벌칙함수를 이용한 분위수 회귀모형의 적합은 아래와 같이 표현된다.

$$(\hat{b}_{\tau}, \hat{\beta})^{QR+Lasso} = \arg \min_{b, \beta} \sum_{i=1}^N \rho_{\tau}(y_i - b - \mathbf{x}_i' \beta) + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j|$$

위의 식에서 벌칙함수는 회귀계수를 0의 방향으로 축소추정하게 함과 동시에 반응변수와 관련이 없는 잠음변수들을 정확하게 0으로 추정함으로써 적절한 설명변수를 선택하게 한다.

② 국방 데이터 분석에 활용 가능한 비선형 회귀분석 기술 소개

회귀모형의 추정에서 반응변수와 설명변수가 비선형 관계를 갖는 자료에 대해서는 선형 관계식을 가정하는 전통적 방법론의 사용은 제한된다. 또한 분석자료의 크기에 비해 설명변수의 수가 상대적으로 큰 경우 손실함수만을 고려한 추정법은 다중공선성(multicollinearity) 및 과대적합(over-fitting)의 문제를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 커널함수를 이용한 능형 회귀모형(kernel ridge regression, KRR)과 커널 분위수 회귀모형(kernel quantile regression, KQR)이 개발되었다.

이제 다음의 비선형 모형

$$y_i = \langle \mathbf{w}, \phi(\mathbf{x}) \rangle + \beta_0 + \epsilon_i \text{ for } i = 1, 2, \dots, N$$

을 고려하자. 여기서 $\phi(\mathbf{x})$ 는 설명변수 $\mathbf{x} \in R^p$ 를 고차원 공간으로 변환하는 비선형 함수이고, $\{\epsilon_i\}_{i=1}^N$ 는 평균이 0인 분포로부터의 서로 독립인 랜덤오차이다. 비선형 모형에서 반응변수 y 의 조건부 평균 함수(conditional mean function of $y|\mathbf{x}$) $m(\mathbf{x}) = E(Y|\mathbf{x})$ 는

$$m(\mathbf{x}) = \langle \mathbf{w}, \phi(\mathbf{x}) \rangle + \beta_0$$

로 표현되고, $m(\mathbf{x})$ 를 추정할 때 설명변수들 사이의 다중공선성 문제와 과대적합의 문제를 고려하기 위한 커널 능형 회귀모형(Kernel Ridge Regression, KRR)의 적합식은

$$\min_m \sum_{i=1}^N (y_i - m(\mathbf{x}_i))^2 + \lambda \|\mathbf{w}\|^2$$

와 같다(Saunders et al., 1998; An et al., 2007). 이때 Mercer의 정리(Cristianini and Shawe-Taylor, 2000)를 만족하는 커널함수 $K(\cdot, \cdot)$ 를 이용하면, representer 정리(Kimeldorf and Wahba, 1971)로부터 위 적합식의 해는

$$m(\mathbf{x}) = \mu(\mathbf{x}) + \beta_0, \text{ 단 } \mu(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \beta_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x})$$

와 같은 형태로 표현되고, 회귀계수는 다음의 선형 방정식

$$\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & \mathbf{K} + \lambda \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \boldsymbol{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{y} \end{bmatrix}$$

을 통해 추정된다.

여기서 $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$, $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1)'$, $\mathbf{K} = \{K_{k,l} = K(\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_l)\}_{k,l=1}^N$ 이다.

또한 모형의 과대적합 문제를 해결하기 위해 RKHS(Reproducing Kernel Hilbert Space) H_K 에서 정의된 ridge(Hoerl and Kennard, 1970) 형태의 벌칙함수 $\|q_\tau\|_{H_K}^2$ 를 추가한 커널 분위수 회귀모형(Kernel Quantile Regression, KQR)의 적합식은

$$\min_{q_\tau \in H_K} \sum_{i=1}^N \rho_\tau(y_i - q_\tau(\mathbf{x}_i)) + \|f_\tau\|_{H_K}^2$$

와 같이 표현된다. Mercer의 정리를 만족하는 커널함수 $K(\cdot, \cdot)$ 를 이용하면, representer 정리로부터 적합식의 해는

$$q_\tau(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \beta_{\tau,i} K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b_\tau$$

와 같은 형태로 표현되고, 이를 이용하여 커널 분위수 회귀모형(KQR)의 적합식은

$$\min_{\boldsymbol{\beta}, b} \sum_{i=1}^N \rho_\tau \left(y_i - \sum_{j=1}^N \beta_{\tau,j} K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) - b_\tau \right) + \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \beta_{\tau,i} \beta_{\tau,j} K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$$

와 같이 다시 표현할 수 있다(Li et al., 2007). 커널함수는 사용의 편의성, 계산의 효율성 및 유연성 등과 같은 장점을 바탕으로 비선형 함수의 추정에 많이 활용되고 있으며, 일반적으로 많이 사용되는 radial basis 커널함수가 주로 사용된다.

③ 분할정보를 활용한 국방 빅데이터의 회귀분석 기술 연구

벌칙항을 이용한 회귀분석과 커널함수를 이용한 비선형 회귀분석 기술은 여러 다양한 국방자료의 분석에 활용 가능하다. 특히 국방자료가 수집되는 과정에서 많은 이상치와 오류의 발생 가능성을 고려할 때 분위수 회귀분석은 추정의 강건성을 유지하는 측면에서 매우 유용하게 활용될 수 있다.

최근에는 네트워크 등 과학기술의 발전으로 국방의 다양한 분야에서 새로운 유형의 빅데이터가 생성, 수집 및 저장되고 있으며, 이러한 빅데이터의 출현은 앞서 설명한 많은 회귀분석 기술의 직접적인 적용을 불가능하게 하고 있다. 특히 KRR과 KQR은 커널함수를 이용하여 비선형 회귀함수를 효과적으로 추정하나, 그 계산 알고리즘이 많은 계산비용을 요구하므

로 근내의 메모리 능력이 제한된 하나의 컴퓨터로 비선형 회귀함수를 추정하기는 불가능하다. 이러한 경우 컴퓨터 과학 분야에서 많이 사용되는 분할정복(divide and conquer) 알고리즘을 이용하여 컴퓨터의 계산 능력을 초과하는 국방 빅데이터를 분석할 수 있다.

분할정복 알고리즘은 앞서 소개한 바와 같이 먼저 전체 자료를 분할(divide)한 후 분할된 자료의 결과를 통합(conquer or merge)하는 기법으로 빅데이터 분석에서 널리 사용되고 있으며, 최근에는 대용량 자료의 분석을 위해 전통적인 통계분석 방법론에 활용되고 있다. Fan et al.(2007)은 선형회귀 모형의 최소제곱추정에 분할정복 알고리즘을 적용하였으며, Lin and Xi(2011)은 대용량 자료에서 추정 방정식(estimated equations)을 이용한 분할정복 추정법을 개발하였다. 또한 분할정복 알고리즘은 일반화 선형모형(generalized linear model)의 추정에 활용되었으며(Chen and Xie, 2014), 대용량 자료의 분석을 위한 선형 분위수 회귀모형의 추정에도 적용되어 연구되었다(Chen et al., 2018; Jiang et al., 2018; Xu et al., 2020; Chen and Zhou, 2020). 특히 Zhang et al.(2015), Kang and Jhun(2020)은 분할정복 알고리즘을 활용하여 KRR의 효율적인 계산법을 제안하였으며, Bang and Kim(2020)은 분할정복 알고리즘을 활용하여 KQR의 효율적인 계산법인 DC-KQR을 개발하였다.

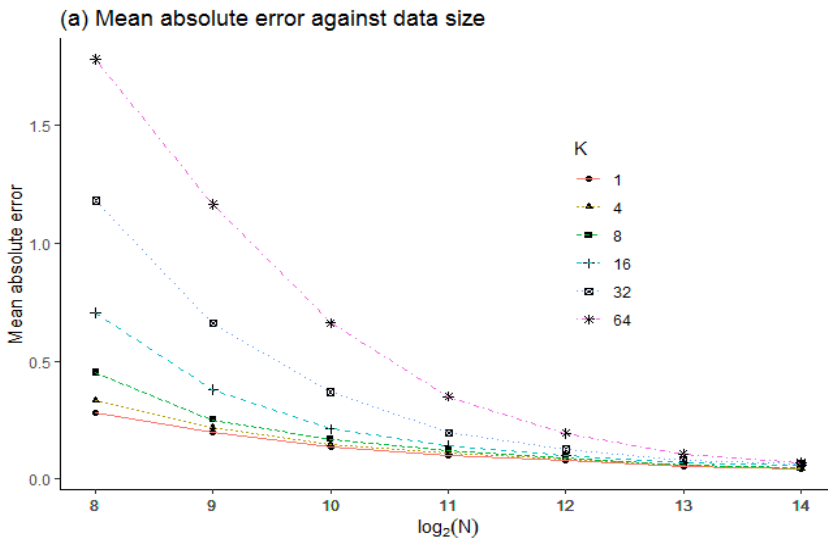
분할정복 알고리즘을 적용한 회귀분석 기술 중에서 DC-KQR 기법(Bang and Kim, 2020)의 주요 알고리즘과 성능을 살펴보기로 하자. DC-KQR은 먼저 N 개의 전체 훈련자료를 서로 배반인 동일한 크기($n = N/K$)의 훈련자료로 구성된 K 개의 부분집합으로 무작위로 분할(divide)한 후, 각각의 부분집합에 대하여 커널 분위수 회귀함수를 추정하고 이들의 산술 평균을 이용하여 최종적인 추정량으로 통합(conquer)하는 기법으로 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

DC-KQR 알고리즘	
단계 1.	크기가 N 인 훈련자료 $\{\mathbf{x}_i, y_i\}_{i=1}^N$ 를 서로 배반인 K 개의 동일한 크기($n = N/K$)의 부분집합 S_1, S_2, \dots, S_K 로 무작위로 분할한다.
단계 2.	각각의 $k = 1, 2, \dots, K$ 에 대하여 KQR 국소 추정량(local estimator)을 $\hat{q}_{\tau, k}(\mathbf{x}) := \arg \min_{q_{\tau} \in H_K} \sum_{(\mathbf{x}, y) \in S_k} \rho_{\tau}(y_i - q_{\tau}(\mathbf{x}_i)) + \lambda \ q_{\tau}\ _{H_K}^2$ for $k = 1, 2, \dots, K$ 와 같이 계산한다.
단계 3.	K 개의 KQR 국소 추정량들을 평균하여 DC-KQR 추정량을 $\bar{q}_{\tau}(\mathbf{x}) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{q}_{\tau, k}(\mathbf{x})$ 와 같이 최종적으로 계산한다.

Bang and Kim(2020)은 DC-KQR의 분위수 함수의 추정 정확도와 계산 효율성을 기존의 KQR과 비교하기 위하여 모의실험을 시행하였다. 회귀모형으로는 비선형 함수

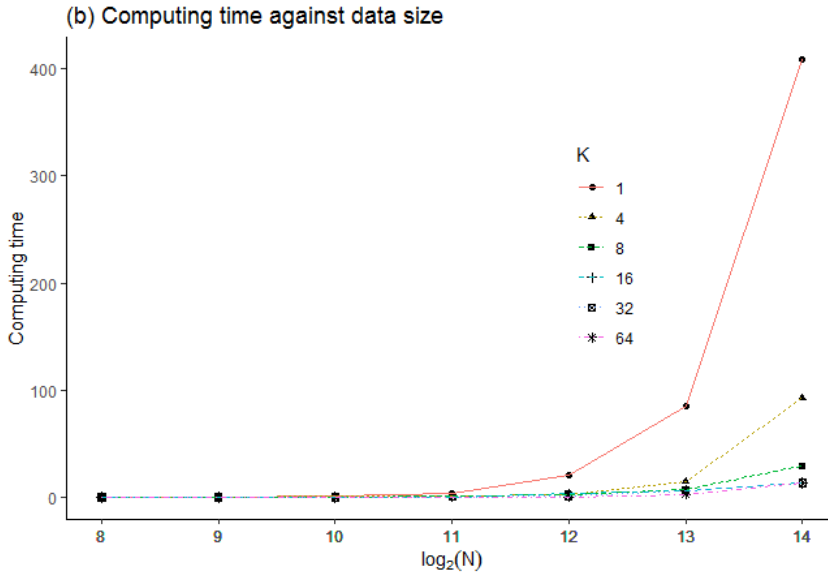
$$y = 2 + 4\sin(\pi x_1) + 4(x_2 - 0.5)^2 + \epsilon$$

을 고려하였으며, 설명변수 x_1 과 x_2 는 서로 독립적으로 균등분포 $U(-1,1)$ 를, 오차항 ϵ 은 표준정규분포 $N(0,1)$ 를 따르는 것으로 가정하였다. 모형적합(model fitting)은 중위수(median) 함수($\tau = 0.5$)를 추정하였으며, 이를 위해 훈련자료(training data)의 크기 N 은 $N \in \{2^8, 2^9, \dots, 2^{15}\}$ 을 고려하였고 훈련자료의 균등분할 수 K 는 $K \in \{2^2, 2^3, \dots, 2^6\}$ 을 고려하였다. <그림 6>와 <그림 7>은 각각 훈련자료의 크기 N 에 따른 KQR과 DC-KQR의 평균절대오차와 계산 속도를 그림으로 비교하고 있다. 여기서 균등분할 수 $K = 1$ 일 때는 기존의 KQR 추정법을 나타낸다. 두 그림으로부터 균등분할 수 K 가 증가함에 따라 DC-KQR의 추정 정확도는 감소하는 반면, DC-KQR의 계산 속도는 현저히 향상되는 것을 알 수 있다. 특히 균등분할 수 $K \leq 2^4$ 일 때 DC-KQR의 추정 정확도는 다소 안정적인(stable) 경향을 나타내었으며, 훈련자료의 크기 $N \geq 2^{12}$ 일 때는 균등분할 수 $K = 2^6$ 에서도 수용 가능한 추정 정확도의 성능을 나타내었다. 또한 예상한 바와 같이 균등 분할된 부분집합의 훈련자료의 수 $n(= N/K)$ 이 동일할 때 균등분할 수 K 가 클수록 추정의 정확도가 높게 나타나고 있으며, 이러한 결과는 국방 빅데이터가 스트림(stream)의 형태로 수집되는 경우 DC-KQR의 활용 가능성을 보여주고 있다.



<그림 6> DC-KQR의 평균절대오차

* 자료 : Bang and Kim (2020)



〈그림 7〉 DC-KQR의 계산 시간

* 자료 : Bang and Kim (2020)

(4) 분할정복 알고리즘을 활용한 국방 빅데이터의 분류분석 기술 연구

분류분석(classification analysis)은 소속집단을 알고 있는 데이터를 이용하여 분류모형을 추정하고, 이를 이용하여 소속집단을 모르는 데이터에 대하여 집단을 예측하는 기법이다. 범주형 자료에 대한 분류분석은 실생활의 많은 분야에서 유용하게 활용되고 있다. 예를 들어 금융기관에서 고객을 ‘신용 양호’, ‘신용 불량’으로 분류하는 대출 심사에 활용되고 있으며, 병원에서 특정 질병에 대해 ‘양성’, ‘음성’으로 분류하는 진단 검사에서 활용되고 있다.

최근 국방 관련 다양한 분야에서 빅데이터가 수집, 저장되고 있으며, 이러한 빅데이터의 분류분석을 통해 참모판단 및 지휘관의 올바른 결심에 도움을 줄 수 있는 유용한 정보를 도출할 수 있다. 예를 들어, 군내 안전사고는 여러 다양한 형태로 실시간으로 발생하고 있으며, 이러한 빅데이터의 분류분류는 분류 정확도와 유연성을 바탕으로 분류분석 분야에서 널리 활용되고 있다. SVM은 훈련개체들 중에서 분류함수 근처의 서포트 벡터(support vector)만을 분류함수의 추정에 사용하므로 분류함수로부터 멀리 떨어진 개체는 함수의 추정에 영향을 주지 않는다. 따라서 다른 분류기법들과 비교할 때 SVM은 분류분석에서 비교적 강건한 성능을 나타낸다. 또한, SVM은 양정치(positive definite) 커널함수(kernel

function) $K : R^p \times R^p \rightarrow R$ 에 의해 만들어지는 재생 커널 힐버트 공간(reproducing kernel Hilbert space; RKHS)에서 비선형 분류함수를 추정함으로써 비교적 높은 분류 정확도를 나타낸다.

본 연구에서는 먼저 국방자료의 분류분석에서 활용 가능한 SVM 분류기술을 소개하고, 나아가 국방 빅데이터 분석을 위한 분할정복 알고리즘의 활용방안을 제시하기로 한다. 석을 통해 유형별 사고위험을 예측하는 분류기(classifier)를 학습할 수 있다. 또한, 다양한 감시 및 무기체계로부터 수집되는 빅데이터로부터 적 또는 아군을 구분하는 분류기를 학습하여 해당 체계를 자동화 및 지능화할 수도 있다.

이처럼 분류분석은 국방 빅데이터의 많은 부분에서 활용될 수 있으며, 로지스틱 회귀분석(logistic regression), 베이지 분류분석(Bayes classification), 의사결정나무(decision tree), 딥러닝(deep learning), 서포터 벡터 머신(support vector machine, SVM) 등 다양한 분류기술이 이용될 수 있다. 특히 Cortes와 Vapnik(1995), Vapnik(1998) 등에 의해 제안된 SVM(support vector machine)은

① 국방 데이터 분석에 활용 가능한 SVM 분류분석 기술 소개

개체의 소속집단을 나타내는 이진 범주형 반응변수 $y_i \in \{-1, 1\}$ 와 p 차원 입력변수 $\mathbf{x}_i \in R^p$ 로 이루어진 크기가 N 인 훈련자료 $\{\mathbf{x}_i, y_i\}_{i=1}^N$ 에 근거하여, 선형 분류함수 $f(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b$ 를 추정하는 문제를 고려하자. 여기서 $\mathbf{w} \in R^p$ 와 $b \in R$ 는 각각 가중치 벡터와 편향(bias)을 나타내며, 새로운 개체의 입력값 $\mathbf{x} \in R^p$ 가 주어졌을 때 이 개체의 소속집단은 분류함수의 부호를 이용하여 $y = \text{sign}(f(\mathbf{x}))$ 로 분류된다. Cortes와 Vapnik(1995), Vapnik(1998) 등에 의해 제안된 SVM은 높은 분류 정확도와 유연성을 바탕으로 여러 다양한 분야에서 널리 활용되고 있는 분류분석 기법 중 하나이며,

$$\min_{\mathbf{w}, b} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|_2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i$$

subject to

$$y_i \{ \langle \mathbf{w}^T \mathbf{x}_i \rangle + b \} \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N$$

와 같은 이차계획법(QP)으로 분류함수의 가중치 벡터 \mathbf{w} 와 편향 b 를 추정한다. 여기서 C 는 조율모수(tuning parameter)로 그 값이 클수록 훈련개체의 오분류에 대하여 더 큰 벌점(penalty)을 부여하게 된다.

일반적으로 SVM은 원문제(primal form) 대신에 쌍대문제(dual form)로 변환하여 최적의 분류함수를 추정하게 되며, 비선형 분류함수의 추정을 위해 Mercer의 정리(Cristianini and Shawe-Taylor, 2000)를 만족하는 커널함수(kernel function) $K : R^p \times R^p \rightarrow R$ 를 사용하면

$$\min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j \alpha_i \alpha_j K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) - \sum_{i=1}^N \alpha_i$$

subject to

$$\sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0, 0 \leq \alpha_i \leq C \text{ for } i = 1, 2, \dots, N$$

으로 해 $\hat{\alpha}_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 을 구할 수 있다. 이로부터 SVM의 비선형 분류함수는

$$\hat{f}(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \hat{\alpha}_i y_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + \hat{b}$$

와 같이 추정할 수 있으며, 새로운 개체의 소속집단은 $\hat{y} = \text{sign}(\hat{f}(\mathbf{x}))$ 으로 예측할 수 있다. 여기서 분류함수 $\hat{f}(\mathbf{x})$ 은 $\hat{\alpha}_i > 0$ 을 만족하는 훈련개체에 의해 결정됨을 알 수 있으며, 이러한 훈련개체 $\{\mathbf{x}_i | \hat{\alpha}_i > 0\}$ 를 서포트 벡터(support vector)라고 한다.

② 분할정복을 활용한 국방 빅데이터의 SVM 분류분석 기술 연구

로지스틱 회귀, 베イズ 분류 등 전통적인 분류분석에 비해 SVM, 딥러닝 등 최근의 분류 모형은 비교적 높은 분류정확도를 제공하는 반면, 분류기 학습에 많은 계산비용을 요구한다. 특히 SVM은 앞서 살펴본 바와 같이 N 개의 결정변수(decision variable)를 갖는 이차 계획법으로 공식화 되며 이는 $O(N^3)$ 의 계산비용을 필요로 한다. 따라서 빅데이터의 분류 분석에서 메모리 능력이 제한된 하나의 컴퓨터로 SVM 분류함수를 추정하기는 불가능하다.

국방 빅데이터는 많은 분야에서 실시간으로 수집, 저장되고 있다. 특히, 감시체계로부터 수집되는 신호 및 영상 데이터, 무기체계의 센서로부터 수집되는 데이터, 부대원들의 병영 생활 데이터 등 여러 다양한 분야에서 수많은 양의 정보가 실시간으로 계속하여 수집되어진다. 이러한 국방 빅데이터는 효율적인 부대운영, 작전계획 수립, 경계작전 지능화 등 국방의 여러 분야에서 활용될 수 있다. 그러나 기존의 분류분석 기술로는 이처럼 실시간적으로 수집되는 빅데이터를 처리할 수 없다. 또한, 대부분의 국방 데이터는 군사 기밀사항으로 군 내부에서 제한된 메모리 능력을 지닌 컴퓨터로 분석, 처리되어야 하는 경우가 많다.

국방 빅데이터의 분류분석을 위한 방안으로 앞서 소개한 분할정복 알고리즘을 활용할 수 있다. Bang et al.(2021)은 분할정복 알고리즘을 활용한 DC-SVM 기술을 제안하였으며, 이러한 기술은 국방 빅데이터의 분석에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. DC-SVM은 먼저 N 개의 전체 훈련자료를 서로 배반인 동일한 크기($n = N/K$)의 훈련자료로 구성된 K 개의 부분집합으로 무작위로 분할(divide) 한 후, 각각의 부분집합에 대하여 SVM 분류함수를 추정하고 최종적으로 이들의 결과를 통합(conquer)하여 분류기(classifier)를 구하는 기법으로 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

DC-SVM 알고리즘	
단계 1.	크기가 N 인 전체 훈련자료 $\{\mathbf{x}_i, y_i\}_{i=1}^N$ 를 서로 배반인 K 개의 동일한 크기($n = N/K$)의 부분집합 S_1, S_2, \dots, S_K 로 무작위로 분할한다. 설명의 편의를 위해 부분집합의 크기 n 은 정수로 가정하고, k 번째 부분집합은 $S_k = \{\mathbf{x}_{(k)i}, y_{(k)i}\}_{i=1}^n$ 로 표기한다.
단계 2.	<p>훈련자료의 부분집합 $S_k(k = 1, 2, \dots, K)$에 대하여 SVM 국소 최적해(local optimal solution) $\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{(k)} = [\hat{\alpha}_{(k)1}, \hat{\alpha}_{(k)2}, \dots, \hat{\alpha}_{(k)n}]$ 을</p> $\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{(k)} = \arg \min_{\boldsymbol{\alpha}_{(k)}} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{(k)i} y_{(k)j} \alpha_{(k)i} \alpha_{(k)j} K(\mathbf{x}_{(k)i}, \mathbf{x}_{(k)j}) - \sum_{i=1}^n \alpha_{(k)i}$ <p>subject to</p> $\sum_{y \in S_k} y_i \alpha_{(k)i} = 0, 0 \leq \alpha_{(k)i} \leq C \text{ for } i = 1, 2, \dots, n$ <p>와 같이 계산하고, 분류함수 $\hat{f}_k(\mathbf{x})$ 을</p> $\hat{f}_k(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \hat{\alpha}_{(k)i} y_{(k)i} K(\mathbf{x}_{(k)i}, \mathbf{x}) + \hat{b}_{(k)}$ <p>와 같이 구한다.</p>
단계 3.	K 개의 SVM 국소 최적해 $\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{(k)}$, 분류함수 $\hat{f}_k(x)(k = 1, 2, \dots, K)$ 등을 통합하여 최종적인 SVM 분류기를 구한다.

Bang et al.(2021)이 제안한 DC-SVM 알고리즘의 단계 2에서 SVM 최적해 $\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{(k)}$ ($k = 1, 2, \dots, K$)은 $n(= N/K)$ 차원의 이차계획법(QP)에 의해 구해지고, 이러한 계산을 K 번 반복하므로 DC-SVM의 계산 비용은 $O(K(N/K)^3) = O(N^3/K^2)$ 으로 기존의 SVM에 비해 계산이 매우 효율적이다. 또한, 분할정복 알고리즘의 특성상 K 개의 부분집합에 대한 SVM 국소 최적해의 계산은 병렬 분산처리가 가능하므로 다중 프로세서 또는 GPU 기반의 병렬 연산 환경에서 계산할 경우 상당한 계산 속도의 향상을 기대할 수 있다.

2. 불균형의 국방 빅데이터 처리기술 연구

(1) 현 상황

최근 영상인식, 음성인식 등의 분류분석 기반 인공지능 기술이 급속도로 발전함에 따라 군 경계시스템을 지능화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지능형 경계시스템을 구축하기 위해서는 영상 및 음성인식 장비로부터 실시간으로 수집되는 방대한 양의 빅데이터를 저장 및 처리해야 한다. 더불어 수집되는 국방 빅데이터가 어떤 형태로 구성되는지 확인하고, 그 특성에 적합한 분류분석(classification analysis) 기술을 적용해야 할 것이다.

적과 아군의 판별 또는 분류를 목적으로 하는 경계시스템, 부대 안전사고의 발생 유무 예측 등 실시간으로 수집되는 국방 빅데이터 중에서 많은 분야의 자료들이 범주형 자료의 형태로 수집되고 있으며, 이러한 범주형 자료에 대한 분류분석은 이미 실생활의 많은 분야에서 유용하게 활용되고 있다. 예를 들어, 분류분석은 의료분야에서 환자가 특정 암에 걸릴 가능성을 진단하거나 효과적인 치료법을 판단하는데 활용되고, 금융분야에서 은행의 여신 담당자가 대출자의 대출 여부 결정하는데 이용되며, 통신분야에서는 이동통신 고객의 유지 또는 이탈 여부를 판별하는데 활용되는 등 의사결정을 필요로 하는 많은 분야에서 그 활용성이 지속적으로 증가하고 있다.

현실 세계의 많은 이항 범주형 자료들은 두 집단(class)의 개체수가 현격하게 차이가 나는 불균형 자료(imbalanced data)로 수집·저장된다. 예를 들어, 군 경계시스템으로 수집되는 신호 및 영상자료는 대부분 정상인 또는 동물들의 신호가 수집되고 적 침투와 같은 이상징후는 거의 수집되지 않는다. 또한 특정 질병의 진단 검사에서는 대부분의 검사결과가 음성으로 판정되고, 양성으로 나타나는 환자는 매우 드물게 수집된다. 이러한 불균형 자료의 분류분석에서는 다수집단(majority class)의 오분류보다 소수집단(minority class)의 오분류가 더 중요하게 다루어는 반면, 전통적인 분류분석 방법은 자료의 전체 정확도를 향상시키기 위하여 분류함수를 다수집단에 편향적으로 추정하기 때문에 소수집단의 분류 정확도를 현격히 감소시키는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 불균형의 국방 빅데이터를 처리, 분석하기 위한 기술을 소개하고, 나아가 최신 분석법을 연구하였다.

(2) 불균형 자료의 분류분석 기법 소개

불균형 자료의 분류분석에서 다수집단으로 치우침 없이 균형된 분류함수를 추정하기 위한 방법은 소수집단의 오분류 비용을 상대적으로 높게 적용하는 오분류 비용의 차등적용 방법, 인위적으로 집단 별 개체수를 균형되게 조정하는 방법, 그리고 개체수 조정과 오분류

비용 차등적용을 적절히 결합하는 방법 등 크게 세 가지로 구분된다. 오분류 비용 차등적용 방법은 모형 적합에 사용되는 손실함수(loss function)에서 집단별 오분류에 대한 비용을 차등적으로 적용하는 것으로 집단별 분포에 의존하지 않고 소수집단의 개체에 대한 오분류 비용을 상대적으로 상향 적용하여 균형된 분류함수를 추정할 수 있다(Akabani 등, 2004; Ling과 Sheng, 2008; Tang 등, 2009; Anand 등, 2010; Datta와 Das, 2015; Bang과 Jhun, 2014; Kim 등, 2016).

집단별 개체 수를 인위적으로 조정하는 방법 중 과소추출법(undersampling)은 다수집단의 훈련개체를 소수집단의 개체 수만큼 과소추출하여 선택된 개체만을 분류함수의 추정에 사용하는 방법이다. 가장 간단한 방법은 임의 과소추출법(random undersampling)으로 집단 별 훈련개체의 비율을 동등하게 맞춰 소수집단의 분류 정확도를 향상시킬 수 있는 반면, 다수집단의 훈련개체 중 일부만을 임의로 선택하는 과정에서 분류함수의 추정에 중요한 개체가 제거되어 정보손실이 크게 발생할 수 있다. 이러한 제한사항을 보완하기 위하여 다수집단의 훈련개체를 이용하여 K 개의 군집을 만들고, 다수집단을 대표하는 각 군집의 평균을 새로운 훈련개체로 사용하는 K -평균 군집 과소추출법이 연구되었다(Zhang 등, 2010; Bang과 Jhun, 2014). K -평균 군집 과소추출법은 다수집단의 군집수 K 를 조정하여 분류함수가 편향되어 추정되는 것을 막을 수 있으며, 다수집단을 대표하는 군집의 평균점을 훈련 개체로 활용하기 때문에 임의 과소추출법에 비해 중요 정보의 손실위험을 줄일 수 있다. 집단별 개체 수를 인위적으로 조정하는 방법 중 과대추출법(oversampling)은 소수집단의 자료로부터 개체를 생성하여 집단 간의 훈련개체 수를 균형적으로 조정하는 방법이다(Chawla 등, 2002; Jeong 등, 2008). 과대추출법 중 가장 간단한 방법은 소수집단으로부터 훈련개체를 다수집단의 훈련개체 수만큼 랜덤하게 추출하는 임의 과대추출법(random oversampling)으로, 이는 과소추출법에 비해 정보손실이 적으나 소수집단의 개체를 반복 추출하므로 과적합의 위험을 수반한다. 이러한 제한사항을 보완하기 위하여 소수집단의 개체 각각에 대하여 근접한 k 개의 개체를 선택하고, 그 개체들 사이에서 새로운 가상(synthetic)의 개체들을 생성하는 SMOTE(Chawla 등, 2002) 방법이 개발되었으며, Borderline-SMOTE(Han 등, 2005), ADASYN(He 등, 2008), Safe-level-SMOTE(Bunkhumpornpat 등, 2009), DB(Density-based) SMOTE(Bunkhumpornpat 등, 2012) 등 다양한 SMOTE 알고리즘이 연구되었다. 나아가 Bang과 Kim(2020b)은 기존의 SMOTE 알고리즘들이 소수집단의 개체들 사이의 직선상에서만 새로운 개체를 생성하므로 소수집단의 영역을 확장하지 못하는 단점을 보완하기 위하여 가우스 혼합 군집모형을 이용한 과대추출법(GMC-SMOTE)을 제안하였다.

(3) 불균형 자료 분류분석의 성능평가

분류분석에서 추정된 분류함수의 성능은 새로운 개체를 실제 집단으로 잘 분류할 수 있는지를 평가하는 분류 정확도로 나타낼 수 있으며, <표 13>의 오차행렬(confusion matrix)을 이용하여 다양한 분류 정확도를 표현할 수 있다.

<표 13> 오차행렬(Confusion matrix)

	Positive prediction	Negative prediction
Positive class	TP (True Positive)	FN (False Negative)
Negative class	FP (False Positive)	TN (True Negative)

오차행렬에서 TP는 소수집단의 개체를 올바르게 소수집단으로 예측한 개체수를 의미하고, TN은 다수집단의 개체를 올바르게 다수집단으로 예측한 개체수를 의미한다. 반면 FN은 소수집단의 개체를 다수집단으로 잘못 분류한 개체수를 의미하며, FP는 다수집단의 개체를 소수집단으로 잘못 분류한 개체수를 나타낸다.

전체정확도(overall accuracy)는 일반적인 분류분석에서 가장 많이 사용되는 평가 척도로서

$$\text{Overall accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP}$$

와 같이 정의되고, 모든 새로운 개체에 대하여 소속집단이 올바르게 분류된 개체의 비율을 나타낸다. 전체정확도는 집단별 개체수가 균형적인 자료의 분류분석에서 가장 일반적으로 사용되는 평가 척도이지만, 집단 별 자료의 수가 현저하게 차이가 나는 불균형 자료의 경우에는 다수집단 자료의 영향으로 분류함수에 대한 성능 평가가 왜곡될 가능성이 높다. 특히 집단별 개체수가 현저히 차이가 나는 경우에는 모든 개체를 다수집단으로 분류한다고 하더라도 오분류되는 소수집단의 개체수가 상대적으로 매우 작기 때문에 전체정확도는 여전히 높게 평가된다. 따라서 전체정확도만으로는 추정된 분류함수를 평가하기에는 한계가 있으며, 이러한 경우에는 각 집단 별로 분류 정확도를 각각 평가하는 방법이 대안이 될 수 있다. 소수집단의 분류 정확도를 의미하는 민감도(sensitivity)와 다수집단의 분류 정확도를 의미하는 특이도(specificity)는 각각

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad \text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP}$$

로 정의되며, 민감도와 특이도 두 가지를 모두 고려할 수 있는 기하평균(g-mean)은

$$G\text{-mean} = \sqrt{\text{Sensitivity} \times \text{Specificity}}$$

와 같고, 불균형 자료의 분류분석에서 분류함수의 평가 척도로 많이 사용되고 있다.

(4) 불균형 국방 빅데이터의 분류분석을 위한 기술 연구

Cortes와 Vapnik(1995), Vapnik(1998) 등에 의해 제안된 SVM(support vector machine)은 높은 분류 정확도에 근거하여 분류분석 분야에서 널리 활용되고 있다. SVM은 양정치(positive definite) 커널함수(kernel function) $K : R^p \times R^p \rightarrow R$ 를 이용하여 재생 커널 힐버트 공간(reproducing kernel Hilbert space; RKHS)에서 비선형의 분류함수를 추정함으로써 일반적으로 우수한 분류 성능을 나타낸다. 그러나 SVM은 많은 계산 비용을 필요로 하는 이차계획법(quadratic programming; QP)으로 분류함수를 추정하기 때문에 대용량의 국방 빅데이터의 분석에는 그 사용이 제한된다. 또한, 많은 국방 빅데이터는 불균형적으로 수집되기 때문에 전통적인 SVM 기법을 그대로 적용할 수 없는 실정이다.

불균형의 국방 빅데이터를 분석하기 위한 방법으로, 먼저 다수집단을 여러 개의 부분집합으로 분할(divide)하고, 소수집단의 개체를 GMC-SMOTE(Bang과 Kim, 2020b)를 이용하여 과대추출(oversampling)한 후 균형된 부분집합들로부터 각각의 SVM 분류함수를 추정하자. 그리고 최종적으로 이들을 통합(conquer)하여 SVM 분류함수를 추정하면 계산속도를 높이고 동시에 균형된 분류함수를 추정할 수 있을 것이다. 이러한 추정법은 다수집단의 분할(divide), 소수집단의 과대추출(oversampling), 여러 부분집합으로부터 추정된 SVM 분류함수들의 통합(conquer)의 과정으로 이루어지므로 DOC-Classifer(divide-oversampling and conquer classifier)이라고 하며, 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

DOC-Classifier 알고리즘	
단계 1. (분할)	<p>설명의 편의를 위해 다수집단과 소수집단의 훈련자료 전체의 집합을 각각 $S^- = \{(\mathbf{x}_i, y_i) \mid y_i = -1\}_{i=1}^{N^-}$, $S^+ = \{(\mathbf{x}_i, y_i) \mid y_i = 1\}_{i=1}^{N^+}$ 라고 하고, 훈련자료는 매우 불균형적이라고 가정한다. 즉, $N^- \gg N^+$이다.</p> <p>먼저 다수집단 S^-를 서로 배반인 K개의 동일한 크기($n^- = N^-/K$)의 부분집합 $S_1^-, S_2^-, \dots, S_K^-$으로 무작위 분할(divide)한다.</p> <p>이때 분할된 다수집단 부분집합의 크기 n^-는 소수집단 전체의 크기 N^+보다 크다고 가정한다. 즉, $n^- \geq N^+$이다.</p>
단계 2. (자료결합)	<p>다수집단의 부분집합 S_k^- ($k = 1, \dots, K$) 각각에 대하여 소수집단 S^+를 결합하여 K개의 훈련자료 $S_k = S_k^- \cup S^+$ ($k = 1, \dots, K$)를 만든다.</p>
단계 3. (과대추출)	<p>각각의 훈련자료 S_k에 상대적으로 부족한 $n_{smote}^+ (= n^- - N^+)$개의 소수집단 훈련자료를 GMC-SMOTE를 통해 임의로 추출(over-sampling)하여 균형적인 K개의 부분집합 S_k^{smote} ($k = 1, \dots, K$)을 생성한다. 이때 GMC-SMOTE의 분포는 소수집단 S^+로 부터 추정한다.</p>

DOC-Classifer 알고리즘	
단계 4. (SVM 추정)	각각의 훈련자료 $S_k^{smote}(k = 1, 2, \dots, K)$ 에 대하여 최적화 식 (2.2)를 이용하여 SVM 분류함수 $\hat{f}_k(x)$ 를 구한다.
단계 5. (통합)	K 개의 SVM 분류함수 $\hat{f}_k(x)(k = 1, 2, \dots, K)$ 의 산술평균(average)을 이용하여 분류함수를 통합하고 최종적으로 $\hat{y} = \text{sign}\left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{f}_k(\mathbf{x})\right)$ 와 같이 분류기(classifier)를 추정한다.

DOC-Classifer 알고리즘은 기존의 분할정보 알고리즘을 다수집단에 적용하여 SVM의 계산 효율을 향상시키고, GMC-SMOTE의 과대추출 알고리즘을 소수집단에 적용하여 SVM 분류함수의 편향을 줄이게 된다.

V. 맺음말

빅데이터는 그 유용성과 가치 창출의 효과를 바탕으로 많은 공공 및 민간분야에서 활용되고 있으며, 빅데이터 분석을 통해 도출된 유용한 정보는 해당 기관의 생존에 필수적인 요소로 인식되고 있다. 이에 발맞추어 우리 군도 빅데이터에 기반한 스마트 국방혁신을 추진하고 있으며, 부대운영, 교육훈련, 경계작전 등 다양한 분야에서 임무 수행 간 생성되는 국방 빅데이터가 수집, 저장되고 있다. 그러나 한국군은 빅데이터 기반 체계를 구축하고 있음에도 불구하고 이를 관리하고 분석, 처리하기 위한 제도와 조직, 인력, 예산 등이 매우 미비한 실정이다. 그 결과 충분한 가치가 있는 빅데이터를 체계적으로 관리하지 못하고 방치 또는 폐기하거나, 제한적인 분석으로 유용한 가치를 도출하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 세 가지 측면에서 국방 빅데이터 관리체계의 발전방향을 제시하였다. 첫째, 데이터 분석으로부터 유용한 정보를 도출하기 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 양질의 데이터를 확보하는 것이며, 이를 위해서는 군내 다양한 체계에서 실시간으로 수집되는 데이터들이 통합, 관리되어야 한다. 교육훈련, 부대관리 등 다양한 분야에서 국방 빅데이터의 연구가 일부 진행되었지만, 대부분의 연구들은 각각의 체계 내에서 수집된 한정된 데이터 분석에 근거하므로 그 분석 결과 또한 제한적인 가치와 정보만을 제공하게 되어 국방정책에 활용하기에는 부족한 면이 있다. 둘째, 국방 빅데이터로부터 유용한 가치를 도출하기 위해서는 이를 분석, 처리할 수 있는 많은 인프라와 전문인력이 필요하다. 여러 곳에 분산,

보관되어 있는 데이터들을 동시에 통합적으로 관리할 수 있는 데이터베이스와 하둡, NoSQL 등 빅데이터 처리 인프라, 딥러닝, 데이터 마이닝 등 빅데이터 분석을 위한 컴퓨팅 인프라의 구축이 필요하다. 나아가 이러한 업무를 총괄할 수 있는 전담부서와 전문인력의 지속적인 양성이 요구된다. 셋째, 대부분의 국방 데이터는 군사기밀의 이유로 자료제공에 많은 제약을 받고 있다. 따라서 국방 공공데이터 제공 훈령에서부터 데이터 관리부서의 행정예규까지 제반 규정이 체계적으로 마련되어야 할 것이다.

국방 분야에서 수집, 저장되는 빅데이터는 매우 불균형적으로 구성되며, 많은 경우 보안상의 문제로 군내에서 보유하는 제한된 컴퓨팅 인프라로 분석처리 되어야만 한다. 본 연구에서는 분할정복 알고리즘을 활용하여 군내 제한된 컴퓨팅 인프라로 대용량의 국방 데이터를 효율적으로 처리하는 기술에 대하여 연구를 진행하였으며, 나아가 SMOTE 기법을 이용하여 불균형의 범주형 자료를 효율적으로 처리하는 기술에 대하여 연구하였다. 기밀성, 불균형성과 같은 국방자료의 특수성을 고려한 빅데이터 분석기술 연구, 국방 빅데이터 관리체계의 발전방향 연구 등 본 연구의 결과들이 국방 빅데이터를 처리하고 분석하는데 적용되어 국방정책의 올바른 의사결정에 유용하게 활용되기를 기대한다.

〈참고 문헌〉

- 김성우, 김각규, 윤봉규 (2014). 국방분야 빅데이터 분석의 활용가능성에 대한 고찰. 한국경영과학회지, 39, 1-19.
- 김재현 (2019). 산업현장에서 요구하는 빅데이터 필요성과 데이터의 중요성. TTA JOURNAL, 182, 40-46.
- 문혜정 (2012). 'Big Data 구축기술과 사례를 중심으로' 재구성
- 송태민, 송주영 (2015). 빅데이터 연구 한 권으로 끝내기. 한나래아카데미.
- 신규용, 이종관, 강광희, 홍원기, 한창희 (2019). 국방군수분야에서 인공지능(AI) 기술의 활용실태 분석 및 발전방향 제시. 한국디지털콘텐츠학회, 20(12), 2433-2444.
- 이관용, 김진욱 (2018). 알고리즘. 교우사
- 이다희(2020.11.30). 데이터센터의 변화 및 시사점. 경기도경제과학연구원.
https://www.gbsa.or.kr/mobile/board/industrial_trend.do?nttId=4671&pageIndex=1&searchCnd=&searchWrd=에서 2021년 9월 5일 검색
- 이재수(2020.12.23.). 폭증하는 데이터 수요 대비, 하이퍼 스케일 데이터센터(DC) 구축 시급. 전국경제인연합회.
http://m.fki.or.kr/bbs/bbs_view.asp?cate=news&content_id=d1748899-bc53-4ed9-aa5f-cb4ddd7c81e3에서 2021년 9월 3일 검색
- 이정은(2020.02.11.). 지능형 재활 지원시스템 도입. 환경일보.
<http://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=555478>에서 2021년 9월 5일 검색.
- 조재규 (2020). 국방 인공지능 인프라 분석 및 발전방안. 국방정책연구, 130호, 109-146.
- 한국지능정보사회진흥원 (2020). 2020 공공데이터 활용기업 사례집.
- 한국지능정보사회진흥원 (2020). 2020 중소기업 빅데이터 분석·활용 사례집.
- 한국지역정보개발원 (2020). 2020 지방자치단체 빅데이터 분석 사례집.
- Akbani, R., Kwek, S. and Japkowicz, N. (2004). Applying support vector machines to imbalanced datasets. In Proceedings of European Conference of Machine Learning, 3201, 39-50.
- An, S., Liu, W., and Venkatesh, S. (2007). Fast cross-validation algorithms for least squares support vector machine and kernel ridge regression. Pattern Recognition, 40, 2154-2162.

- Anand, A., Pugalenti, G., Fogel, G. B. and Suganthan, P. N. (2010). An approach for classification of highly imbalanced data using weighting and undersampling. *Amino acids*, 39, 1385-1391.
- Bang, S., Han, S. and Kim, J. (2021). Divide and conquer algorithm based support vector machine for massive data analysis. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 32(3), 463-473.
- Bang, S. and Kim, J. (2020). Divide and conquer kernel quantile regression for massive dataset. *The Korean Journal of Applied Statistics*, 33(5), 569-578.
- Bang, S. and Kim, J. (2020b). Sampling method using Gaussian mixture clustering for classification analysis of imbalanced data. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 22, 565-574.
- Bang, S. and Jhun, M. (2014). Weighted support vector machine using k-means clustering. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 43, 2307-2324.
- Bunkhumpornpat, C., Sinapiromsaran, K. and Lursinsap, C. (2009). Safe-level-SMOTE: safe-level-synthetic minority over-sampling technique for handling the class imbalanced problem, In *Proceedings of the 13th Pacific-Asia Conference on Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, 475-482.
- Bunkhumpornpat, C., Sinapiromsaran, K. and Lursinsap, C. (2012). DBSMOTE: density-based synthetic minority over-sampling technique. *Applied Intelligence*, 36, 664-684.
- Chawla, N., Bowyer, K., Hall, L. and Kegelmeyer, W. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321-357.
- Chen, X., Liu, W., and Zhang, Y. (2018). Quantile regression under memory constraint. *arXiv preprint arXiv:1810.08264*.
- Chen, X. and Xie, M. (2014). A split-and-conquer approach for analysis of extraordinarily large data. *Statistica Sinica*, 24, 1655-1684.
- Chen, L. and Zhou, Y. (2020). Quantile regression in big data: A divide and conquer based strategy. *Computational Statistics and Data Analysis*,

144, 1-17.

- Cole, T. and Green, P. (1992). Smoothing Reference Centile Curves: The LMS Method and Penalized Likelihood. *Statistics in Medicine*, 11, 1305-1319.
- Cortes, C. and Vapnik, V. (1995). Support vector networks. *Machine Learning*, 20, 273-297.
- Cristianini, N. and Shawe-Taylor, J. (2000). *An introduction to Support Vector Machines*. Cambridge University Press.
- Datta, S. and Das, S. (2015). Near-Bayesian support vector machines for imbalanced data classification with equal or unequal misclassification costs. *Neural Networks*, 70, 39-52.
- Fan, J., and Li, R. (2001). Variable Selection via Nonconcave Penalized Likelihood and its Oracle Properties. *Journal of the American Statistical Association* 96(4), 1348-1360.
- Fan, T., Lin, D., and Cheng, K. (2007). Regression analysis for massive datasets. *Data and Knowledge Engineering*, 61, 554-562.
- Gruber, M.H.J. (1998). *Improving Efficiency by Shrinkage: The James-Stein and Ridge Regression Estimators*, New York: Marcel Dekker.
- Han, H., Wang, W. Y. and Mao, B. H. (2005). Borderline-SMOTE: a new over-sampling method in imbalanced data sets learning. *Lecture Notes in Computer Science*, 3644, 878-887.
- He, H., Bai, Y., Garcia, E. A. and Li, S. (2008). ADASYN: adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning. In *proceedings of the 2008 IEEE International Joint Conference Neural Networks*, 1322-1328.
- Heagerty, P. and Pepe, M. (1999). Semiparametric Estimation of Regression Quantiles with Application to Standardizing Weight for Height and Age in U.S. Children. *J. R. Statist. Soc. C*, 48, 533-551.
- Hendricks, W. and Koenker, R. (1992). Hierarchical Spline Models for Conditional Quantiles and the Demand for Electricity. *JASA*, 87, 58-68.
- Hoerl, A.E. and Kennard, R.W. (1970). Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems. *Technometrics*, 12, 55-67.
- James, W. and Stein, C. (1961). Estimation with Quadratic Loss. *Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium*, University of California Press, 1,

- 361-379.
- Jeong, H., Kang, C. and Kim, K. (2008). The effect of oversampling method for imbalanced data. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 10, 2089-2098.
- Jiang, R., Hu, X., Yu, K., and Qian, W. (2018). Composite quantile regression for massive datasets. *Statistics*, 52, 980-1004.
- Kang, J. and Jhun, M. (2020). Divide-and-conquer random sketched kernel ridge regression for large-scale data. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 31, 15-23.
- Kim, E., Jhun, M. and Bang, S. (2016). Hierarchically penalized support vector machine for the classification of imbalanced data with grouped variables. *The Korea Journal of Applied Statistics*, 29, 961-975.
- Kimeldorf, G. and Wahba, G. (1971). Some results on Tchebycheffian spline functions. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 33, 82-95.
- Koenker, R. (2004). Quantile regression for longitudinal data. *Journal of Multivariate Analysis*, 91, 74-89.
- Koenker, R. (2005). *Quantile regression*. Cambridge University Press.
- Koenker, R. and Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica* 4, 33-50.
- Koenker, R. and Geling, R. (2001). Reappraising Medfly Longevity: A Quantile Regression Survival Analysis. *JASA*, 96, 458-468.
- Koenker, R. and Hallock, K. (2001). Quantile Regression. *Journal of Economic Perspectives*, 15, 143-156.
- Kubokawa, T. and Srivastava, M.S. (2002). Estimating Risk and the Mean Squared Error Matrix in Stein Estimation. *Journal of Multivariate Analysis*, 82, 39-64.
- Li, Y., Liu, Y., and Zhu, J. (2007). Quantile regression in reproducing kernel hilbert spaces. *JASA*, 102, 255-268.
- Li, Y. and Zhu, J. (2008). L_1 -Norm Quantile Regression. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 17, 1-23.
- Lin, N. and Xi, R. (2011). Aggregated estimating equation estimation. *Statistics and Its Interface*, 4, 73-83.

- Ling, C. X. and Sheng, V. S. (2008). Cost-sensitive learning and the class imbalance problem. *Encyclopedia of machine learning*, 2011, 231-235.
- Saunders, C., Gammerman, A., and Vork, V. (1998). Ridge regression learning algorithm in dual variables, in *Proc. 15th International Conference on Machine Learning*, Madison, WI, 24-27.
- Stein, C. (1955). Inadmissibility of the Usual Estimator for the Mean of a Multivariate Normal Distribution. *Proceedings of the Third Berkeley Symposium*, University of California Press, 1, 197-206.
- Tang, Y., Zhang, Y. Q., Chawla, N. V. and Krasser, S. (2009). SVMs modeling for highly imbalanced classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39, 281-288.
- Tibshirani, R. (1996). Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 58(1), 267-288.
- Turlach, B.A., Venables, W.N., and Wright, S.J. (2005). Simultaneous Variable Selection. *Technometrics*, 47, 349-363.
- Vapnik, V.N. (1998). *Statistical Learning Theory*. Wiley, New York.
- Wang, H. and He, X. (2007). Detecting differential expressions in genechip microarray studies: A quantile approach. *JASA*, 102, 104-112.
- Wang, H. and Leng, C. (2008). A note on adaptive group lasso. *CSDA*, 68, 49-67.
- Wang, H., Li, G., and Jiang, G. (2007). Robust Regression Shrinkage and Consistent Variable Selection Through the LAD-Lasso. *Journal of Business and Economics Statistics*, 25, 347-355.
- Wu, Y. and Liu, Y. (2009). Variable Selection in Quantile Regression. *Statistica Sinica*, 19, 801-817.
- Xu, Q., Cai, C., Jiang, C., Sun, F., and Huang, X. (2020). Block average quantile regression for massive dataset. *Statistical Papers*, 61, 141-165.
- Xu, J. and Ying, Z. (2008). Simultaneous estimation and variable selection in median regression using Lasso-type penalty. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Online Published.
- Yang, S. (1999). Censored Median Regression using Weighted Empirical Survival

- and Hazard Functions. *JASA*, 94, 137-145.
- Yuan, M. and Lin, Y. (2006). Model selection and estimation in regression with grouped variables. *J. R. Statist. Soc. B*, 68, 49-67.
- Zhang, Y., Duchi, J., and Wainwright, M. (2015). Divide and conquer kernel ridge regression: A distributed algorithm with minimax optimal rates. *Journal of Machine Learning Research*, 16, 3299-3340.
- Zhang, Y. P., Zhang, L. N. and Wang, Y. C. (2010). Cluster-based majority under-sampling approaches for class imbalance learning. In *Information and Financial Engineering (ICIFE) 2010 2nd IEEE International Conference*, 400-404.
- Zou, H. (2006). The Adaptive Lasso and Its Oracle Properties. *Journal of the American Statistical Association* 101(476), 1418-1429.
- Zou, H. and Yuan, M. (2008a). Composite Quantile Regression and The Oracle Model Selection Theory. *The Annals of Statistics*, 36, 1108-1126.

스마트 국방혁신에 기여하는 국방 인공지능 발전 방안 연구

국방대학교 교수 문 호 석

고려대학교 박사과정 김 정 환

- I. 서론
- II. 스마트 국방혁신과 국방 인공지능과의 관계
- III. 국내·외 국방 인공지능 현황
- IV. 국방 인공지능 활용 및 발전 방안
- V. 결론

요 약

국방부는 국방개혁 2.0과 함께 2018년부터 4차 산업혁명시대에 발맞춰 나가고자 스마트 국방혁신을 추진중에 있으며 이 계획에는 국방 인공지능과 직간접적으로 연계된 내용이 추진과제로 다수 포함되어 있다. 따라서 국방 인공지능이 뒷받침되지 않으면 우리군이 목표로 하는 스마트 국방혁신을 달성할 수가 없게 되므로, 국방 인공지능은 스마트 국방혁신 달성을 위한 선행조건이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 미국 등 세계 각국에 대한 국방 인공지능 현황을 살펴보고 우리나라의 국방 인공지능의 현 실태를 분석, 국방 인공지능이 나아가야 할 방향과 발전방안을 제시하였다. 특히 우리군이 해결해야 하는 문제와 요구사항을 인사, 군수, 작전, 교육훈련의 4개 분야로 구분하여 국방 인공지능을 어떻게 적용할 수 있는지 방안을 제시하고 국방 인공지능 구현시 고려해야 하는 부분에 관하여 서술하였다.

I. 서론

4차 산업혁명은 클라우스 슈바프(Klaus Schwab) 세계경제포럼 의장이 2016년 언급하면서 화제가 된 말로, 디지털 기계와 물리적 환경의 융합으로 지금까지 우리가 살아온 삶의 방식이 뿌리부터 바뀔 수 있는 기술혁명의 직전에 와 있다는 것으로 4차 산업혁명의 중요성을 강조하였다(정춘일, 2019). 새로운 문명인 4차 산업혁명의 작동 원리는 ‘초지능’, ‘초연결’로 대표되며 산업구조와 경제방식 그리고 우리의 생활환경이 완전히 바뀌고 있다. 과거 세 번에 걸친 산업혁명이 생산수단의 변화로 사람들이 일을 쉽게 할 수 있도록 변화가 이루어졌다면, 4차 산업혁명은 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷, 자율주행 등 여러 혁신들이 서로 통합되고 연결됨으로써 기존 삶의 방식을 근본적으로 변화시키고, 생산 시스템에는 파격적인 변화가 발생한다는 것이 기존 산업혁명과 차이가 있다. 이렇듯 4차 산업혁명은 미래 국가경쟁력을 결정할 수 있는 패러다임의 변화로 대두되고 있으며 국방분야 역시 새로운 변화의 물결앞에서 도전을 요구받고 있다.

이러한 변화에 맞춰 우리군은 <그림 1>과 같이 ‘국방개혁2.0’을 통해 “자원 제약 극복과 미래 전장환경 적응을 위한 4차 산업혁명 시대의 과학기술 적극 활용”이라는 정책 기조를 선정하였으며, 국가 수준과 국민 눈높이에 부합하는 선진화된 국방운영, 병영문화, 방위사업을 구현하기 위한 개혁을 강력하게 추진하면서, 4차 산업혁명의 과학기술을 국방의 모든 분야에 반영하기 위한 스마트 국방혁신을 추진 중이다.



<그림 1> 스마트 국방혁신 전략과 비전(국방부)

즉 '4차 산업혁명 기술 기반의 스마트 국방혁신'을 통해 <그림 2>와 같이 「디지털 강군, 스마트 국방」을 구현을 추진중이며 이를 위해 국방운영, 기술 및 기반, 전력체계의 3가지 형태의 분야로 구분하여 목표를 설정하고, 과제를 세분화하여 추진중에 있다.



<그림 2> 4차 산업혁명 스마트 국방혁신 추진과제(국방부)

이를 세부적으로 살펴보면, 먼저 국방운영 혁신 분야는 첨단 ICT의 국방분야 적용을 통해 투명하고 효율적인 선진 국방운영을 실현하는 것이다. 기술 및 기반 혁신분야는 초연결·초지능의 인프라 조성을 통해 국방혁신을 지속할 수 있는 기반을 확보하고, 핵심기술의 국방 적용을 추진하기 위한 제도개선과 신경망과 같은 초연결 네트워크로 국방자원을 관리하는 것이다. 전력체계 혁신분야는 미래 전장환경을 고려한 무기체계 고도화와 지능화로 군사적 우위를 달성하여 미래전에 대비하는 것이다(강태우 등, 2020).

이러한 스마트 국방혁신의 목표 달성을 위한 추진전략으로는 먼저 혁신동력을 발휘할 수 있는 구체적이면서 실현가능한 기술범위와 사업을 선별하여 역량을 집중시키는 것이며, 제도개선과 더불어 조직간 임무와 역할을 정립하는 것이다. 또한 4차 산업혁명 기술 발전추세를 고려, 필수 사업을 우선 선정해 추진하고, 민간의 경험과 역량을 적극 활용하여 민·관·군 협력체계를 강화하는 것이다.

하지만 우리군이 목표로 하는 스마트 국방혁신은 단순히 정책, 제도적 변화만으로는 달성이 불가하며 기술적으로 반드시 구현되어야 하는 것이 있는데, 바로 국방 인공지능이다. 따라서 여기서는 국방 인공지능이란 무엇인지 알아보고 국·내외 국방 인공지능의 현황을 살펴본 뒤 활용과 발전방향에 대해 알아보고자 한다.

II. 스마트 국방혁신과 국방 인공지능과의 관계

국방 인공지능에 앞서 인공지능에 대해 먼저 알아보면, 인공지능(Artificial Intelligence, AI)은 1956년 다트머스 회의(Dartmouth Conference)로 알려져 있는 모임에서 처음으로 제기되었다. 인공지능은 인간의 지성의 분야인 지각, 기억, 학습, 이해, 추론, 연산 등의 행동을 기계를 통해 구현하고자 하는 기술 또는 학문 총칭한다. 다트머스 회의 이후 실질적인 연구가 1960년대부터 활발하게 이루어지기 시작하였으나, 1970년대로 접어들면서 인공지능에 대한 회의론이 대두되어 1990년대 초까지 암흑기를 가지게 되었다.

하지만 1990년대, 컴퓨터의 분산처리기술, 메모리/CPU의 성능개선과 대용량 데이터베이스 기술이 발전하면서 인공지능의 구현 가능성이 재확인 되었으며, 2000년대 이후 완전한 전성기를 누리면서 현재는 비약적으로 발전이 이루어지고 있다.

인공지능은 입력에 의한 출력 수준, 즉 나타낼 수 있는 지능의 수준에 따라서 레벨을 구분하는데 <그림 3>과 같이 4단계로 구분할 수 있다.

1단계는 단순한 제어프로그램에 해당하는 인공지능으로 이는 마케팅적으로 인공지능을 지칭하는 것이라 할 수 있다. 지극히 단순한 제어프로그램을 탑재하고 있는 전자제품을 인공지능 탑재라고 부르는 수준으로 에어컨, 청소기 등의 제품에 등장한다.

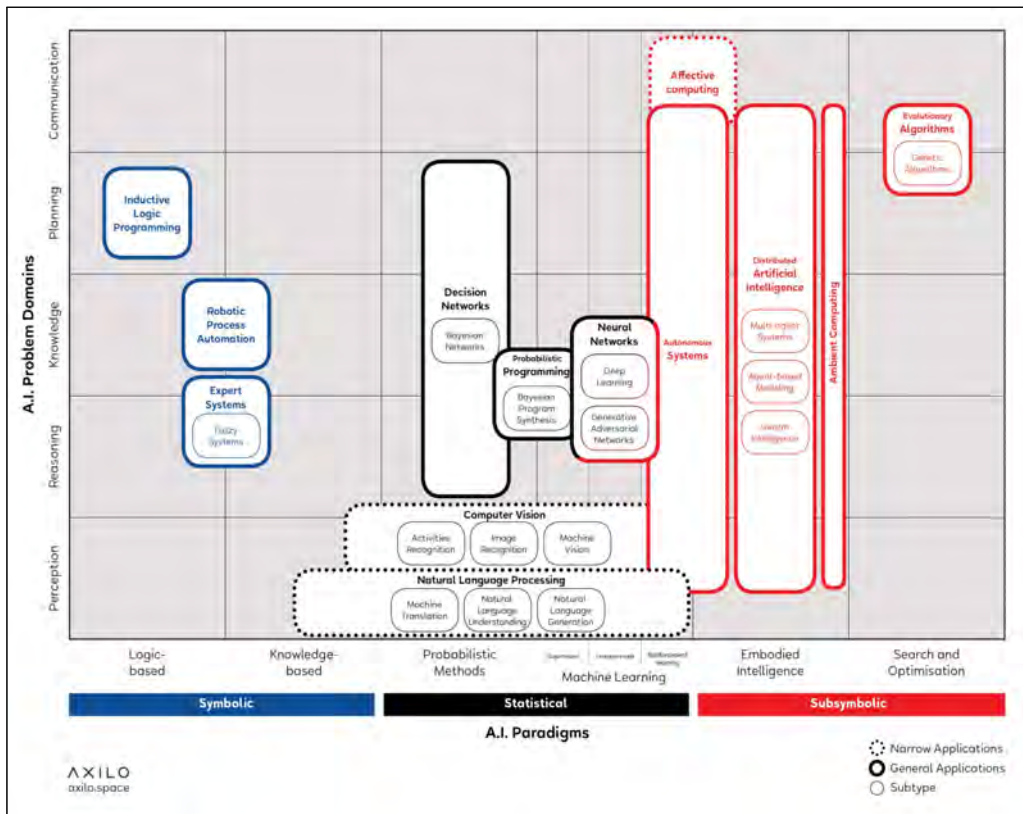
2단계는 고전적인 인공지능으로 장기게임, 로봇청소기 또는 질문에 대답하는 기계로써 행동의 패턴이 다양한 경우에서의 지능을 의미한다. 입력과 출력간 관계를 가지는 조합의 수가 많은 경우를 주로 의미하는데, 2단계의 인공지능은 적절한 판단을 내리기 위해 탐색/추론을 하거나 기존에 보유한 베이스 지식을 바탕으로 판단을 한다.

3단계는 기계학습으로 이루어지는 인공지능으로 검색 엔진에 포함되어 있거나 빅데이터를 통해 스스로 판단하는 인공지능이다. 지식 베이스나 추론의 구조가 데이터를 바탕으로 학습되는 것으로 일반적으로 기계학습 알고리즘이 사용되는 경우가 많다. 이때 기계학습은 데이터를 통해 규칙이나 지식을 스스로 학습하는 것인데, 패턴 인식이라는 과거연구를 기반으로 2000년대 이후 빅데이터 시대가 도래하면서 더욱 발전하고 있다. 최근 우리가 접하는 인공지능은 레벨 3을 일컫는 경우가 많은데, 과거 레벨 2 수준에서 기계학습을 통해 현재 레벨 3으로 변화하고 있는 중이다.

4단계는 딥러닝을 받아들인 인공지능으로 기계학습 간 데이터를 표현하기 위해서 사용되 는 입력값(Feature) 그 자체를 학습하는 것이다. 이를 딥러닝이라고 부르고 있는데 최근 투자, 기술개발, 인재 획득에서 각 국가간 매우 치열하게 경쟁 중으로 현재 가장 연구가 활발한 영역이다.

지능수준		분류
레벨 4	<ul style="list-style-type: none"> 인간과 유사하거나, 인간보다 뛰어난 지능 	⇒ 딥러닝 인공지능
레벨 3	<ul style="list-style-type: none"> 지식을 스스로 학습 유사영역 문제해결 	⇒ 기계학습 인공지능
레벨 2	<ul style="list-style-type: none"> 행동 패턴 인식 특정 분야 문제 해결 	⇒ 고전적인 인공지능
레벨 1	<ul style="list-style-type: none"> 단순제어 자동작동/원격제어 	⇒ 단순제어 프로그램

〈그림 3〉 인공지능의 레벨 분류



〈그림 4〉 인공지능 기술 분류(C, Francesco “AI knowledge map”)

인공지능을 레벨이 아닌 종류로 분류를 하면 <그림 4>와 같이 분류가 가능하며 크게 기계 학습(Machine Learning), 자연어 처리(Natural Language Processing), 자동화 및 로봇(Automation and Robotics), 머신 비전(Machine Vision)으로 분류할 수 있다.

기계학습은 기본적인 규칙만 입력받아 주어진 정보와 데이터를 활용하여 스스로 학습하는 알고리즘을 개발하는 분야를 의미하며 알고리즘 유형으로는 크게 지도학습(Supervised Learning), 비지도학습(Unsupervised Learning), 강화학습(Reinforcement Learning)으로 분류할 수 있으며, 최근 많이 사용되는 딥러닝(Deep Learning) 역시 인공지능망의 기반으로 예측 또는 분류를 하는 기계학습의 일부이다.

자연어 처리는 인간의 언어 현상을 컴퓨터로 구현하는 인공지능의 분야로 내용요약, 음성 인식, 언어 번역, 질의응답 시스템 등 많은 응용분야에서 활용되고 있다.

자동화 및 로봇은 단조롭고 반복적인 작업을 통하여 인간과 유사한 모습과 기능을 가진 기계적 장치를 뜻하며 최근에는 외부환경을 스스로 인식하고 상황을 판단하여 자율적으로 움직이는 로봇으로까지 진화중이다.

머신 비전은 인간이 가진 시각과 판단기능을 기계에 부여한 것인데 사람이 인지하고 판단하는 기능을 컴퓨터 시스템이 대신 처리하는 기술로, 예를 들어 산업분야에서 촬영한 영상을 통해 기계가 불량품을 찾아내는 등 원하는 작업을 정밀하고 빠른 속도로 처리가 가능하다.

최근에는 이러한 인공지능과 관련하여 머신러닝, 딥러닝 등과 같은 용어가 혼용되어 사용되는데 인공지능은 인간의 추론 능력 및 인지능력을 구현하는 모든 분야를 의미하는 것으로 머신러닝, 딥러닝을 포함한 가장 포괄적인 분야라 할 수 있다.

이러한 인공지능을 국방분야에 접목시켜 활용되는 것을 국방 인공지능이라 한다. 국방 인공지능은 <표 1>과 같이 민간부문 인공지능에 비해 여러 특수성과 차이점을 가지고 있다. 활용되는 데이터가 다르고 특히 매우 혹독한 환경에서 운용되거나 여러 제한되는 요건들도 가지고 있다. 만약 군사작전에 인공지능을 적용하는 경우 결과의 정확성과 신속성에 대한 요구강도가 민간부분과 비교시 매우 강한수준으로 요구될 것이다. 따라서 민간에서 운용되는 일반적인 인공지능 수준에 비하여 국방 인공지능은 한 차원 높은 수준을 요구한다고 할 수 있다.

또한 데이터 측면에서도 국방 인공지능은 일반적으로 활용되는 인공지능과 차이가 있다. 인공지능이 구현되기 위해서는 데이터 축적이 필수적인데, 국방 분야의 데이터는 양적으로도 활용가능한 부분이 매우 적으면서 이를 확보하는 것 역시 어려운 경우가 많다. 따라서 데이터의 양적, 질적 제약이 매우 심함에도 불구하고 인공지능 시스템에 대해서는 무결성을 요구하는 것이 국방 인공지능의 특징이다.

〈표 1〉 국방 인공지능의 특성과 민간 인공지능과의 차이점(한국국방기술학회, 2020)

특 성	내 용
AI 기술적 특성	• 민간영역과 근본적 차이는 없음
운영환경의 차이	• 전장환경 적용시 신속성이 우선시 • 예측이 불가한 이벤트의 발생가능성이 큼
데이터	• Train, Test 데이터 획득이 어려우며, 보안성이 요구
네트워크	• 폐쇄적 독립망으로 연결성 제한
요구사항	• 안전성, 강건성, 무결점성 등 요구되는 성능기준이 높음
성능검증, 안전, 표준기관	• 민간보다 미비한 편
적대적 의도 가능성	• 상용보다 높음
문화적 차이	• 민간 기업들의 무기체계 분야 개발 거부감 • 데이터 축적 및 공유 문화가 상대적으로 약함
지식재산권	• 자유로운 특허 공개 및 개발자 소유가 어려움

우리군은 4차 산업혁명시대의 전장환경 급변과 잠재적 위협이 증가하는 안보환경의 불확실성 속에서 인구 급감에 따른 병역자원 부족, 복잡한 미래전과 같은 심화문제에 대응하기 위하여 스마트 국방혁신을 통해 ICT기반의 4차 산업혁명 기술을 군사력 증강에 적극 활용하고자 하였다.

하지만 스마트 국방혁신을 통해 이러한 문제를 해결하기 위해서는 인공지능 기술의 접목이 반드시 필요하다. 특히 우리군이 수립한 스마트 국방혁신의 세부과제들은 인공지능 기술이 뒷받침되지 않으면 구현이 불가능한 것이 많기 때문에, 인공지능 기술이 구현되지 않고 스마트 국방혁신을 이루어 내는 것은 불가능하다고 할 수 있다.

따라서 국방분야의 특성과 요구사항을 갖춘 국방 인공지능은 스마트 국방혁신을 위한 선결 조건이면서 상호 연계성 하에서 계획이 수립, 발전되어야 할 것이다.

Ⅲ. 국내·외 국방 인공지능 현황

1. 해외의 국방 인공지능 현황

미국 등 해외 주요 국가에서는 인공지능을 국가 경쟁력의 새로운 분야로 인식하고, 〈표 2〉와 같이 세계에서 선두권 차지를 위한 다양한 인공지능 관련 정책을 추진하고 있다.

〈표 2〉 해외 국가별 인공지능 주요 정책 동향(인공지능국가전략, 2019)

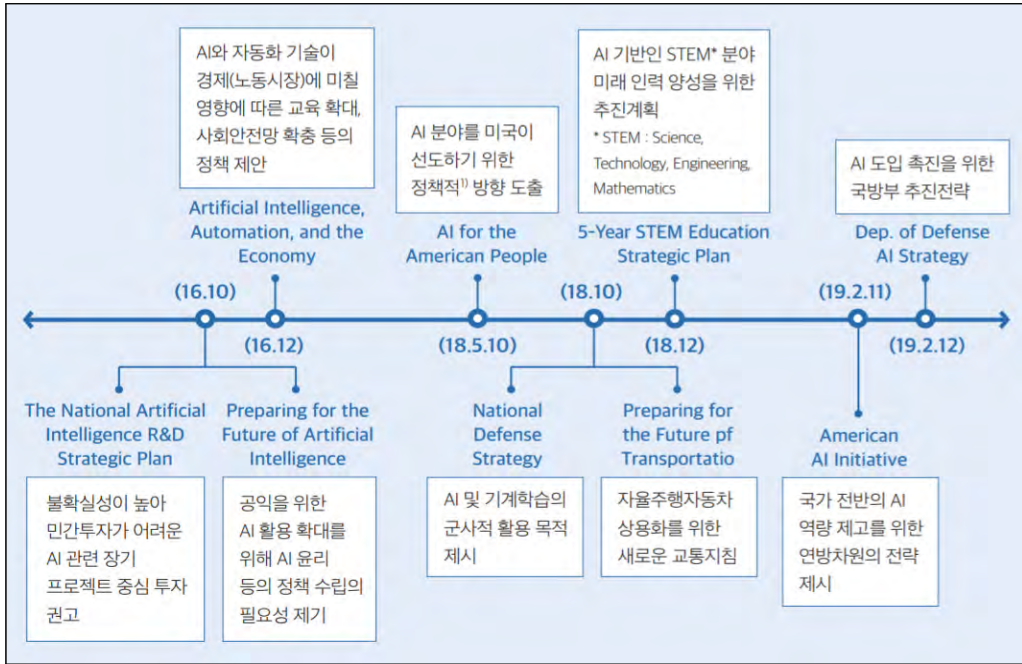
국 가	주요 내용
미 국	<ul style="list-style-type: none"> • 인력과 R&D에 대한 정부의 선제적·장기적 투자를 통해 민간분야의 자생적 경쟁력을 높이고, 인공지능 투자에 우선순위 부여 • 민간에서 추진하기 어려운 군사안보, 차세대 R&D 분야 활용에 중점
영 국	<ul style="list-style-type: none"> • 산업 생산성 향상을 위해 인공지능 글로벌 기업 유치, 인력양성 등 인공지능 관련 5가지 분야별 정책 제안 • 민간과의 협력을 기반으로 인공지능 비즈니스 환경조성에 투자 집중
중 국	<ul style="list-style-type: none"> • 정부 주도로 인공지능, 데이터 분야 대규모 투자를 추진하고, 선도기업 지정으로 산업별 특화 플랫폼 육성 * 알리바바(스마트 도시), 바이두(자율차), 텐센트(의료/헬스) 등
러시아	<ul style="list-style-type: none"> • 연방정부 주도의 인공지능 기술분야에서 국제적 리더로 발전을 목표 • 인공지능 적용, 지능형 무인체계 등 국방 기술개발에 투자 집중
일 본	<ul style="list-style-type: none"> • 저성장·고령화 등 사회문제 해결 및 산업활력 제고 수단으로 인공지능 기술혁신을 가속화하고, 응용인재 연 25만명, 고급인재 연 2,000명 및 최고급인재 연 100명 양성 • 인공지능을 통해 사회문제 해결을 최우선 과제로 인식

특히 세계 각국은 인공지능이 다가올 미래전에 대비하고 미래 국방력 향상에 밀접한 연관이 있을 것이라 판단, 국방 인공지능 역량을 향상시키기 위해 다양한 정책을 수립하고 있다.

따라서 아래에서는 각 국가별 국방 인공지능에 대하여 현재 어떠한 추진 정책과 적용 분야가 있는지 세부적으로 살펴보고자 한다.

(1) 미국의 국방 인공지능

국방 인공지능의 선두주자인 미국은 2014년 11월 15일, 당시 척헤이글 국방성 장관에 의해 언급된 3차 상쇄전략(Third Offset Strategy)에서 인공지능 기술개척 및 군사적 적용을 도모하였다. 미국의 1차 상쇄전략은 미소 냉전시대 핵무기 확보를 통해 군사적 우위를 달성한다는 것이며, 2차 상쇄전략은 재래식 무기의 첨단화를 통해 기술적 우위를 달성한다는 것이다. 이후 등장한 3차 상쇄전략은 미국이 중국, 러시아 등 세계열강들 속에서 지속적으로 과학기술적 우위를 선점하기 위해 혁신기술을 군사분야에 신속히 적용하여 세계 최고 수준의 무기체계를 확보해야 한다는 것이다. 이러한 미국은 2016년 10월 백악관에서 발표한 인공지능의 미래를 위한 준비(Preparing for the Future of Artificial Intelligence)에서 무기체계의 인공지능화를 강조하였으며, 2018년 합동인공지능센터(Joint Artificial Intelligence Center, JAIC) 설립으로 인공지능과 관련된 과업들을 원활하게 조정통제하게 되었다. 또한 2019년 인공지능 기술을 활용하여 모든 군사분야에서 혁신적인 발전을 이루고 국제사회에서 주도권을 지속하기 위해 국방 인공지능 전략서(2018 DoD AI Strategy, 그림 5)를 공표하였다(최근하, 2020).



〈그림 5〉 미국 인공지능 관련 추진현황(한국정보화진흥원, 2019)

미국 JAIC의 목표는 인공지능을 통해 국방부를 혁신한다는 것인데 이것은 미국이 적대국의 위협에 맞서 안보와 번영, 과학기술적 우위를 지속하기 위해 군사영역과 국방운영 전반에 걸친 국방개혁과 혁신의 수단으로서 인공지능 적용과 확산을 우선적으로 고려한다는 것을 보여주는 것이다. 따라서 미국은 국방 인공지능 구현을 위해 매년 많은 예산을 투입하고 있으며 시간이 지날수록 예산의 규모도 증가하는 추세에 있다.

미국은 인공지능의 선도국가답게 이미 군사기관 곳곳에서 인공지능 기술에 대한 적용을 활발하게 시도 중이다. 미국의 국방 인공지능 적용 및 연구사례를 살펴보면, 소란스러운 환경에서 음성인식(speech recognition)과 다중 언어의 번역을 수행하는 알고리즘, 2D 영상 융합으로 3D 모델 생성이 가능한 알고리즘, 연관된 데이터가 없어도 영상 내 지리적 위치가 확인되는 알고리즘, 사람들의 생활패턴 분석(pattern-of-life analysis)을 통해 건물의 기능을 추론할 수 있는 알고리즘 등을 인공지능기술 적용을 통해 5년 이내 내어놓는 것을 목표로 하고 있다.

또한 미 국방부는 군집활동(swarming)을 인공지능 기반으로 구현하는 기술을 현재 시험 중에 있다. 군집활동은 육군을 예로 들면 무인 차량 간 상호 협조를 통해 화력 지원, 전자전 공격 등을 수행하는 것을 의미한다. 해군의 경우는 어느정도 구현이 된 상태로 2016년 11월, 미 해군은 인공지능을 적용한 무인함정 5대로 군집활동을 통해 해상 4×4마일의 구역

에서 초계활동을 하면서 불법으로 침투한 적 함정을 대응하는 시험을 성공적으로 완료하였다. 해당실험을 통해서 인공지능 기술이 항만 방어, 함대의 해상 초계, 잠수함 추적 등의 다양한 해상작전 상황에 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 현재는 수중 드론의 군집활동을 시험하고 있으며, 공군에서는 공중투하 마이크로 드론의 군집활동 실험에도 성공한 것으로 알려져 있다.

미 육군은 <그림 마이크로소프트사(MS)에서 개발한 증강현실(AR) 헤드셋인 통합시각증강장비(IVAS)를 도입할 계획을 발표하였는데, IVAS 플랫폼은 실제 환경 상에서 홀로그램을 겹쳐보는 형태로 시각 장치와 통신 장치, 고해상도를 가진 주야간 열 영상 센서 등을 탑재하고 있다. 이때 열 영상 센서를 통해 어둠 속에 숨어있는 적군에 대한 인식이 가능하며, 위치·무기·전투목표를 한눈에 파악한다. IVAS 플랫폼은 향상된 정보를 제공하여 군인들을 더 안전하게 보호하고 작전 효율성을 높일수 있게 되므로 다양한 시나리오에서 의사결정 지원과 정보 공유를 가능하게 한다.

미 육군과 해병대는 전장환경에서 차량이나 전투원을 뒤따르면서 독립적으로 임무를 수행하는 무인차량에 대한 프로토타입을 시험중이다. 이때 미 해병대용으로 개발중인 것은 다용도 전술차량(Multi-Utility Tactical Transport, MUTT)으로 불리는데, 현재 프로토타입은 완전한 자율 무인차량은 아니지만, 후속 체계에 대해서는 자율 수준을 한층 더 향상시킬 예정이다. 미 육군이 진행하는 것은 Robotic Combat Vehicles(RCVs)로 명명되었는데, 감시정찰, 내비게이션, 폭발물(Improvised Explosive Device, IED) 제거 등과 같은 다양한 임무를 자율적으로 임무를 수행할 수 있는 차량을 개발하는 것이다.

해군 관련 무기체계로는 미 국방성 산하 연구개발 조직인 고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)에서 적 잠수함을 추적하는 무인함정(Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel)을 개발중으로 프로토타입인 'Sea Hunter'의 시험을 2018년 초에 완료하였으며, 현재 해군 연구소(Office of Naval Research)에서 후속 개발과제를 수행하고 있다. Sea Hunter가 전력화되면, 다른 무인함정들과 함께 구성되어 자율적으로 공해를 항해하면서 한 번에 수개월간에 걸쳐 적 잠수함을 찾아다니는 능력을 갖추게 될 것이라고 한다. 유인 구축함의 일일 운영비용이 약 70만 달러 정도인것에 비하여, Sea Hunter는 유인 구축함 운영비용 대비 1/30 수준만 소요될 것으로 전문가들은 추정하고 있다(정유현 등, 2020).

미 공군에서는 F-35의 자율군수정보시스템(Autonomic Logistics Information System)에 인공지능 기술이 사용되는데, 전투기 엔진과 탑재체에 내장된 센서로부터 데이터를 실시간으로 수집하고, 부품교체 시기는 언제인지, 항공기 점검시기는 언제인지를 예측 알고리즘을 통해 운영자가 확인할 수 있도록 하고 있다.

또한 공군은 유인전투기 F-22, F-35와 무인 전투기를 한 조로 편성하여, 무인 전투기가 예상하지 못한 장애물일 만나거나 사전에 계획하지 않은 이벤트가 발생하였을 때 자율적으로 대응할 수 있도록 알고리즘을 개발하고 시험중에 있다. 즉 인공지능을 통해 무인기가 스스로 비행 편대장 임무를 수행 할 수 있도록 연구를 진행중이다.

또한 미 공군은 다중 도메인 지휘통제(Multi-Domain Command and Control: MDC2) 체계를 개발중에 있는데, 이는 지상과 해상을 포함하여 공중, 우주, 사이버공간의 모든 작전의 계획 수립과 실행을 중앙집권화하기 위해서다. 이때 인공지능을 통해 모든 도메인의 센서로부터 수집된 데이터를 융합하여 공통작전상황도(Common Operating Picture, COP)를 구현하고자 한다. 지금은 다수의 플랫폼으로부터 다양한 형식으로 지휘관에게 정보가 제공될 때, 서로 일치하지 않거나 중복되는 사례가 많았다. 하지만 인공지능 기반의 COP은 모든 도메인에서 수집되는 데이터를 결합하여, 정보의 불일치는 자동으로 정확한 정보로 보정하여 주고 아군과 적군의 전반적인 상황을 하나의 화면으로 제시가 가능하다. 또한 궁극적으로는 정보수집과 화면전시로 끝나는 것이 아니라 표적 정보를 타격체계로 자동으로 전달할 수 있게 하는 것이다. 현재는 이 다중 도메인 지휘통제 체계가 개념적 연구단계 수준이지만, 미국의 대표적 방산업체인 록히드 마틴 등의 대기업이나 스타트업을 활용하여 체계개발로 나아갈 준비를 하고 있다.



〈그림 6〉 미국의 국방 인공지능 적용 사례

이처럼 미국은 위에서 언급한 것 이외에도 다양한 방법과 형태로 국방 인공지능 기술을 접목한 무기체계를 개발, 연구하는 등 미래전장에서 지금처럼 압도적 우위를 점할 수 있도록 인공지능을 국방분야에 활용하고 있다.

(2) 영국의 국방 인공지능

영국은 인공지능과 데이터를 기반으로 경제성장을 추진하고 있으며, 이를 위하여 인공지능의 개발에서부터 교육과 규제까지 전방위적인 정책을 추진하고 있다. 영국은 유럽의 인공지능 수도라고 불리울 만큼 인공지능에 대해 국가 차원에서 정책을 추진중인데 '2020 인공지능 준비지수'에서 세계의 모든국가 중 2위를 차지하는 등 인공지능 산업 육성을 위하여 적극 활동 중이다. 특히 2019년 6월 '영국 공공 분야 인공지능 활용 지침'을 발표하고 공공 분야의 인공지능 활용과 확대를 추진하고 있다. 해당 지침에서는 공공 분야 뿐만아니라 일반 민간 기업들도 누구나 활용할 수 있도록 인공지능 도입부터 관리까지 포괄적인 영역을 다루고 있다.

영국 국방부에서도 4차 산업혁명 기술발전에 따라 미래 전장에서는 도메인이 통합적 형태로 나타날것이라 전망하고, 인공지능을 기반으로 통합작전개념과 미래 작전개념을 정립하면서 국방 인공지능 분야를 발전시키고 있다. 특히 데이터 과학자들을 고용하여 국방 및 방위산업에 핵심적인 데이터 분석을 수행하고 있으며, 민간 데이터 과학자들의 국방분야 투입 및 활용여부에 대해서도 세부적으로 연구하는 등 인공지능 분야에 전문성을 갖춘 인재를 지속적으로 물색중이다. 동시에 인공지능 분야에 약 10억만 달러의 예산을 책정하는 등 국방 인공지능을 구현하기 위한 다양한 R&D사업을 지원하고 있다.

2021년 보리스 존슨 영국총리는 2021년 3월, 향후 10년간 국방·안보·외교 전략을 포괄하여 검토한 통합 리뷰(Integrated Review) 발표에서 미래 전쟁 양상이 '인공지능 알고리즘'을 기반으로 이루어질 수 있으며, 관련 기술을 먼저 습득한 나라가 전쟁에서 군사적 우위를 점할 수 있다는 것을 강조하였다.

이를 바탕으로 영국 국방부는 2030년까지 인간과 기계를 네트워크(Human-Machine Teams)로 연결하여 전투를 수행할 수 있도록 혁신기술 개발계획을 선언하고 전투원의 4분의 1 수준을 로봇으로 대체하겠다는 계획을 밝히고 있다. 이때 최전선에 투입되는 로봇군인은 완전 자동화 로봇이 아닌, 인간의 통제하여 작동하는 무인체계로 계획중이며 인간의 모습과 유사한 로봇보다는 소형 드론과 같은 무인화 기계형태로 개발 예정이다. 따라서 2040년 이후에는 지상 플랫폼, 군함 및 항공기를 무인화하면서 전투원과 인공지능체계, 인공지능 체계간의 네트워크를 구축하는 운영방식으로 전환가능하도록 중점을 두고 있다.

또한 영국 국방부는 2021년 NATO의 다국적 연합훈련인 Exercise Spring Storm 과정 중 영국군이 유럽-대서양 안보강화를 위해 프랑스·덴마크·에스토니아군과 함께 수행하는 훈련인 카브리트 작전(Operation Cabrit)간 실탄사격훈련에서 인공지능 활용을 통해 대량의 복잡한 데이터를 신속하게 분류하여 환경과 지형에 대한 정보를 효율적으로 전투원에게 제공하는 등 인공지능을 실제로 국방훈련에 적용하는 다양한 실험을 진행하고 있다(그림 7 참조).



〈그림 7〉 영국의 국방 인공지능 적용 사례

이에 앞서 영국은 2010년, 미래 무인 전투항공기 타라니스(Taranis)를 공개하였는데, 타라니스는 2013년 첫 시험비행에 성공하였으며 2030년까지 유인기를 대체한다는 목표로 개발이 진행 중이다. 이 전투기는 자율적인 스텔스 공격 기능을 테스트받을 예정인데, 타라니스는 대륙 간 이동이 가능하면서 적 목표물을 정확하게 타격할 수 있도록 개발될 예정이다.

또한 영국의 세계적인 회사인 롤스로이스사는 기뢰탐지 임무를 수행하는 무인함정 개발을 선포하였으며 인공지능을 활용하여 승조원과 같은 사람의 개입 없이도 100일간 임무 수행이 가능한 무인함을 설계, 건조를 목표로 하고 있다.

특히 영국 국방부는 데이터 관리에도 큰 관심을 가지고 있으며, 2020년 3월에는 인공지능 인프라를 구축하고자 데이터 관리 전략서를 발간하였다. 영국 국방부는 국방 데이터 관리 전략을 국방 인공지능 활용을 통한 국방혁신의 전제 조건으로 정의하고 있으며, 특히 데이터 센터 관련 위원회를 통해 데이터 관리 거버넌스 시스템을 구축하고 있다.

(3) 중국의 국방 인공지능

중국은 2017년 7월 8일, 국무원이 발표한 〈신세대 인공지능 개발계획(AIDP)〉을 통해 인공지능 분야에서 전략적 우위를 선점하기 위한 3단계의 목표를 제시하였다. 〈그림 8〉과 같

이 그 첫 번째 목표는 2020년까지 인공지능의 전반적 기술과 응용분야에서 세계적인 수준을 달성한다는 것이며, 두 번째는 2025년까지 경제와 산업의 혁신을 위한 주요 원동력으로 인공지능 기술을 활용하여 스마트 사회를 건설하는 것, 세 번째는 2030년까지 스마트 사회, 스마트 경제에서의 뚜렷한 성과를 이루어내어 세계적 혁신국가, 경제강국으로 도약하는 것이다. 또한 중국 지도부는 인공지능의 군사적 이용 역시 불가피한 것으로 여기고 있으며 AIDP에서도 “모든 종류의 인공지능 기술을 국방 분야 혁신에 신속히 적용해야 할 것”이라고 명시되어 있다.



〈그림 8〉 중국정부의 인공지능 개발계획

이에 따라 중국 인민해방군에서도 인공지능과 관련된 정책들을 공격적으로 제시하고 있으며, 지휘결심, 시뮬레이션/워게임 등의 분야에서 인공지능의 사용을 강화하고 모든 형태의 인공지능 기술을 고도화하는 것과 동시에 신속하게 국방혁신 분야에 적용하는 것을 목표로 제시하였다. 또한 기계학습 능력과 광범위한 빅데이터 분석 능력과 같은 인공지능 기술 적용을 통해 자율무기체계 개발 등 변화하는 미래 전장환경에 선제적으로 준비함으로써 군의 조직과 전술, 작전에 대한 개념까지 혁신 하기위해 노력중이다.

특히 중국이 국방 인공지능 활용을 강조하는 이유는 인공지능 분야가 신생 기술로서 현재 시점을 기준으로 미국과 중국간의 기술격차가 적어 비교적 저렴한 비용으로 미래전쟁에서 우위를 차지할 수 있다는 생각을 하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

중국에서 국방 인공지능의 적용 및 연구사례를 살펴보면 대표적으로 인공지능 기반 자율 무기체계 분야가 있다. 중국 인민해방군은 자율주행차량 기술을 탑재한 전차를 실전 배치하

고 있으며 이 전차는 일정 정도의 자율성을 부여하는 원격조정 기술을 탑재하여 운영중이다, 또한 해군에서는 저비용, 장거리 무인자율 잠수함 분야가 있으며, 이미 소형 민군 겸용으로 활용될 수 있는 탐사용 수중글라이더(underwater gliders)와 무인잠수정을 실전배치하였다(그림 9 참조).



〈그림 9〉 중국의 국방 인공지능 적용 사례

특히 무인잠수정 HSU-001은 장거리를 자율 항해하면서 정보 수집 및 정찰 임무 수행이 가능한 것으로 알려져 있다. 무인잠수정에는 인간 운용자가 탑승하지 않은 상태로 스스로 나가서 임무를 수행하고 자력으로 귀환할 수 있으며, 주기적으로 지상의 사령부와 접촉하지만 사람의 개입 없이도 임무를 완수할 수 있다. 또한 중국이 2019년 4월에 공개한 세계 최초의 무인 무장 수륙양용정 마린 리저드(Marine Lizard)는 인공지능을 기반으로 자율적으로 항해하면서 장애물을 스스로 회피하여 경로를 만들고, 해안에 접근하면 스스로 궤도를 꺼내 상륙할 수 있는 기능을 갖추었다(정유현 등, 2020).

또한 공군전력으로 2019년 10월, 중국이 건국 70주년 열병식에서 공개한 무인 스텔스 공격기 GJ(Gongji)-11은 이미 실전배치된 것으로 알려져 있다.

중국의 자율무기체계 개발과 관련하여 미국과 차별화되는 특징은 지능 우월을 추구하는 중국 인민해방군이 뇌-기계(brain-machine)간 결합을 추진하고 있다는 것이다. 이는 인공 지능이 주도하는 정책결정을 의미하는 것으로 지능적 자율무기가 인간과 같이 사고하는 능력을 구현한다는 개념이다. 따라서 중국은 미국의 관점과는 달리 인간의 개입이나 통제가 배제된 방식을 자율무기체계로 간주하려는 경향을 보여준다. 이런 가운데 중국은 폐쇄적인 정부 특성 때문에 인공지능 기술과 그 군사적 활용에 있어서 미국보다는 상대적으로 더 정부적 노력을 기울일 수 있으며, 정부 주도의 민군융합 방식을 통해 미국과의 격차를 당초의 전망보다 빠르게 줄여나가고 있는 것으로 평가할 수 있다.

그러나 이러한 중국의 인공지능 기술의 발전을 저해할 수 있는 요소가 존재하는데, 현재 미중 간에 격화되고 있는 첨단과학기술 분야에서의 경쟁이 인공지능 기술 발전에 불확실성을 가중시키고 있다. 특히 미국의 기술 분야 대중국 제재는 매우 포괄적이고 강력하게 추진되고 있으며, 이는 결국 중국의 국가발전전략인 인공지능 정책에 부정적인 영향을 미치게 될 것이고, 더 나아가 중국 인민해방군이 추진 중인 국방 인공지능 발전에도 커다란 변수로 작용할 가능성이 크다.

이러한 제약사항이 존재함에도 불구하고 중국은 21세기 중엽 세계 일류 군대 건설이라는 인민해방군의 꿈, 즉 강군몽(強軍夢)을 실현을 위해 달음질하고 있으며 그 중심에는 국방 인공지능이 존재한다. 결국, 인민해방군이 강군몽 실현을 위해 각별히 주목하고 있으며 반드시 구현해야 하는 분야가 바로 인공지능이기 때문에 중국군은 인공지능 기술의 군사적 활용을 적극 모색하고 강화해 나갈 것으로 전망된다(양정학, 2021).

(4) 러시아의 국방 인공지능

러시아의 인공지능 기술에 대한 연구의 시작은 생각보다 이른 시기에 시작되었다. 1954년 소비에트 연방의 모스크바 대학에서 언어학, 수학, 심리학 등의 융합 연구 시도를 통해 최초 인공지능 기술에 대한 연구가 시작되었으며, 이후 1988년에 이르러 인공지능협회에서는 연구자 300여 명이 인공지능 기술개발을 위해 투입되었다. 하지만 소비에트 연방 정부에서는 인공지능 기술개발의 의미와 가능성에 대해 실용적인 측면에서 그 효과를 낮게 보고, 결과적으로는 정부 지원 역시 중단되었다. 따라서 전반적으로 냉전의 종식기까지는 인공지능 기술 개발에 대해 러시아 정부 차원의 노력과 지원은 다소 미비하였다고 볼 수 있는 것이다.

2000년대로 접어들어서도 인공지능 기술 발전에 대해 큰 관심을 가지지 않았던 러시아는 2017년, 푸틴 대통령이 “인공지능은 인류의 미래이며 이를 정복하는 자가 세계를 정복할 것이다” 라고 발언한 이후 인공지능 연구에 대한 강력한 추동력을 다시 얻게 된다.

러시아 정부의 관심을 바탕으로 러시아 국방부는 2018년 인공지능 기술개발과 관련하여 민·관·군이 합동으로 연구 및 개발을 도모하고 이를 지속적으로 진행하기 위해 인공지능 기술 관련 10대 계획을 <표 3>과 같이 발표하였다. 특히 로봇공학을 중심으로 국방 인공지능 연구가 진행되는 중으로, 2030년까지 로봇군 창설을 목표로 여러형태의 국방 인공지능 기술 개발에 착수한 것으로 알려져 있다.

<표 3> 러시아 국방부의 인공지능 개발 10대 계획(한국국방기술학회, 2020)

분야	개발 10대 계획
연구 개발	① 인공지능과 빅데이터의 컨소시엄 구축 ② 자동화 전문지식 확보 ⑥ 국제 인공지능 발전상황 모니터
교육 훈련	③ 인공지능 교육 및 연수시스템 구축 ⑦ 인공지능 워게임 진행 ⑨ 국내 군사 포럼에서 인공지능 계획 논의 ⑩ 연례 인공지능 컨퍼런스 개최
인프라 구축	④ Era 캠퍼스에 인공지능 실험실 건설 ⑤ 국립 인공지능 센터 설립 ⑧ 인공지능 법칙 준수 확인

러시아에서 국방 인공지능의 적용 사례를 살펴보면, 수호이사(Sukhoi)에서 생산한 SU-35 전투기에는 인공지능 기술을 활용한 자주적 목표 장치가 탑재되어 있다. 러시아의 차세대 전투기로 개발중인 MiG-35는 인공지능 기술이 적용된 리타(Rita)라는 음성장치가 장착되어 있어 긴급 상황에서 조종사를 보조할 수 있는 역할을 수행하는데 이 기술을 통해 MiG-35 전투기 조종사는 안정적으로 작전영역을 확대하면서 임무수행이 가능하다.

또한 러시아는 <그림 10>과 같이 SU-35, MiG-35 전투기보다 고도로 발전된 인공지능 기술이 탑재된 차세대 전투기 MiG-41을 개발 중이다. 특히 MiG-41 전투기는 극초음속 전투기로서 장거리 극초음속 원격 미사일을 탑재하고, 우주 근방에서도 작전이 가능하도록 능력을 갖춰 적의 인공위성과 우주선까지도 위협할 수 있도록 개발되고 있다(정유현 등, 2020).



〈그림 10〉 러시아의 국방 인공지능 적용 사례

이러한 러시아의 군사적 인공지능 기술 도입은 특히 드론에서 가장 잘 드러난다. 러시아에서 개발된 Flock-93 드론은 동시에 100여 대에 폭발물을 무장하여 적진에서 스웜(swarm)식 공격이 가능토록 개발되었다. Flock-93 드론은 95마일의 작전반경과 수직이착륙 기능이 탑재되어 있는 것으로 알려져 있으며, 인간의 개입 없이 인공지능 알고리즘으로 제어가 가능하기 때문에 새로운 공격 패러다임을 창출한다.

러시아 정부는 국방분야의 인공지능 정책과 전략에 상세히 밝히지 않기 때문에 국방·안보 분야에 대한 인공지능 기술 성과를 확인하는 것은 제한이 되는 부분이 많다. 다만 앞서 언급한바와 같이 국방 인공지능 기술을 적용하려는 러시아 국방부의 노력은 지속되었으며 국방 인공지능을 통해 추구하는 무기체계의 수준이 실제 개발이 완성될 시 전 세계의 군사적 균형에 영향을 줄 수 있을 정도이다.

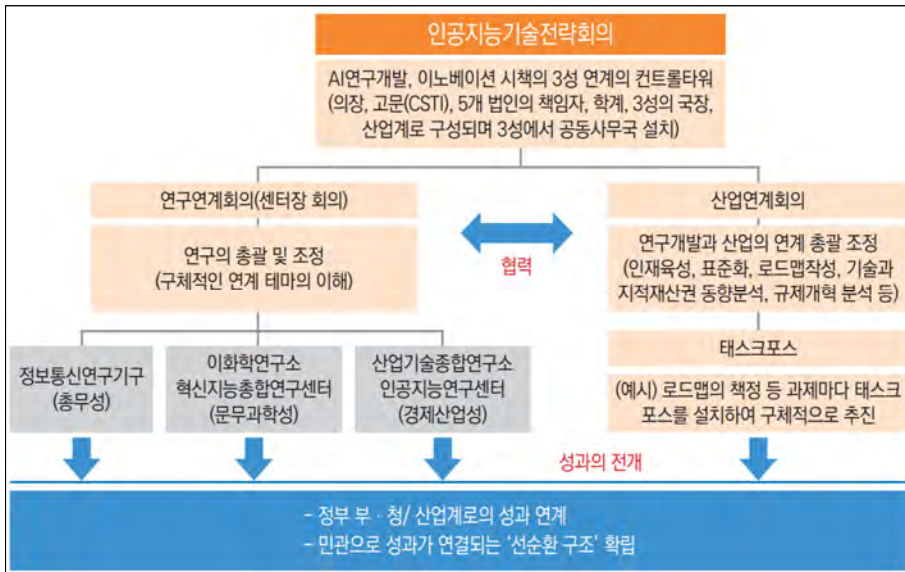
러시아의 인공지능 기술 발전과 관련하여 다른나라의 양상과 차이가 있는점은 바로 민간 차원이 아닌, 정부에서 주도하여 진행되었다는 것이다. 인공지능 분야에 대해 민간 차원의

노력과 개발로 점진적인 발전을 이뤄낸 미국, 영국과 같이 일반적으로 자율성과 창의성이 개발의 가장 큰 원동력으로 작용하는 인공지능 분야에서는 민간 기업이 효율적인 역량을 창출할 수 있다. 정부의 주도로 개발과 투자가 이루어진다고 해서 비효율적이라고 할 수는 없으나, 인공지능 기술개발의 현주소를 살펴보면 정부 주도보다는 민간에서 주도하는 개발이 더욱 빠르고 효과적인 결과를 이뤄냈다. 그러나 러시아는 푸틴 대통령의 주도로 인공지능 기술개발에 대해 강한 추진력을 걸고 있으며, 국방 분야에 특화된 국방 인공지능 기술개발에 대규모로 투자하고 있으므로 인공지능 기술 수준이 미국과 중국의 역량에 비해 크게 낙후되었다고 판단하는것은 이르다고 본다.

특히 러시아는 국방 인공지능 관련하여 타국과 비교하였을때 상당한 경쟁력을 갖추고 있는 부분으로는, 러시아가 무인기를 포함한 인공지능 기반 무기체계를 실전장에서 사용해 본 경험이 있다는 점이다. 러시아는 과거 시리아에서 로봇을 활용한 전쟁을 치러본 경험이 있다. 또한 러시아는 중국과의 협업으로 미국을 견제함으로써 반사적 안보이익을 얻을 수 있는데, 러시아와 중국은 미국에 대항하여 인공지능 분야에서의 협력을 더욱 강화하고 있다. 무엇보다 러시아의 강점으로는 러시아는 국방 인공지능 기술이 탑재된 군사 무기를 실전에 바로 적용할 수 있다는 것이다. 이것은 민주주의 국가들에서는 쉽게 허락되지 않는 것으로, 국방 인공지능 기술이 탑재되는 킬러 로봇이나 무인 드론 미사일과 같은 부분이 활용될 때, 민주주의 국가에서는 인권과 같은 문제로 국내·외적으로 큰 저항에 부딪히고 있으며 국민적 여론을 고려하지 않을 수 없다. 그러나 러시아는 다르다. 러시아는 권위주의적 성향의 정부로 킬러 로봇과 같은 군사 무기를 사용하는 데 있어 국민적 여론을 고려하지 않을 수 있고, 국제적인 비난 역시 감수할 의지가 있다. 즉 국방 인공지능 기술이 탑재된 무기가 개발이 완료되고 상용화되었을 때 필요시 바로 사용할 수 있는 역량과 의지가 있다는 점이 바로 국방 인공지능 분야에서 러시아의 강점이라고 할 수 있다(이수훈 등, 2020).

(5) 일본의 국방 인공지능

일본은 고령화와 인구감소 등 다양한 사회적 문제를 겪는 가운데, 이를 범부처 차원에서 인공지능 기술을 통해 해결하고자 노력중이다. <그림 11>과 같이 2016년 인공지능 역량 강화를 위해 인공지능 기술 전략회의를 설치하였으며, 여기서 2017년에는 R&D 및 산업화 로드맵을, 2018년에는 인간 중심의 인공지능 사회원칙을, 2019년에는 국가 전략으로서 인공지능 활용전략 등을 차례로 발표하는 등 인공지능 기술을 적극 활용하는 정책을 다양하게 추진중이다.



〈그림 11〉 일본 AI기술전략회의의 연구체계(해의 ICT R&D 정책동향, 2019)

일본의 인공지능 전략은 총리를 대신하여, 내각의 업무를 조정·지휘하는 관방장관을 중심으로 추진되었다. 일본은 인공지능을 국가의 전략과제로 인식하고 경제산업성이나 문부과학성에서의 단일 부처 차원이 아니라, 범부처적 차원에서 인공지능 전략을 접근하고 있다. 이는 인공지능을 단순히 하나의 새로운 기술 또는 새로운 산업군으로 보는 것이 아니라 시작 단계에서부터 체계적으로 발전시켜야 할 국가적인 과제로 간주하고 인공지능이 사회 변화를 이끌 새로운 기술 동력이라는 것에 대한 사회적 수용력을 높여려는 움직임이라 볼 수 있다.

일본은 자위권만 있고 교전권이 존재하지 않는 일본 헌법에 따라 공개적으로 방위성에서 인공지능의 군사적 적용에 대한 세부적인 추진내용을 밝히고 있지는 않으나, 일본 산업계의 무인화 및 로봇기술이 세계적 수준으로 평가받기 때문에, 군사적 목적으로서의 국방 인공지능 기술이 적용된 무기체계의 개발이 상당히 진전되어 있을것으로 추정하고 있다. 일본에는 국방 인공지능만을 다루는 조직이 별도로 구성되어 있지는 않으나, 국립방위연구원(NIDS)에서 지속적으로 방위성에 국방분야의 인공지능의 중요성과 적용에 대한 연구물을 제시하는 것을 볼 때 방위성 차원에서 국방 인공지능 기술 적용에 대한 다양한 시도가 있을것으로 예상된다.

특히 2021년 6월, 일본 방위성에서는 2035년 실전배치를 목표로 인공지능을 탑재한 전투기를 개발중이라는 것을 발표하였는데, 국방 인공지능 기술을 바탕으로 조기에 위협요소를 감지할 수 있으며 날씨와 지형을 고려하여, 무인으로 비행이 가능한 전투기를 개발중이

라는 것을 공개하였다. 또한 일본 방위성은 향후 수년간의 연구 개발기간을 통해 다양한 무인 무기체계를 개발, 구축할 예정인데 해상자위대는 무인잠수정 개발을 진행할 예정이다.

또한 일본 방위성은 자위대의 간부 인사에 인공지능을 활용할 계획을 밝혔는데 인사업무의 효율성을 높이고자 대대장, 함장과 같은 지휘관을 포함하여 위관급 이상 간부 전원을 대상으로 인사분야에 인공지능을 활용할 계획이다. 방위성은 각 육상·해상·항공 자위대의 몇 명의 인사 담당자를 중심으로 경험에 의존하여 인사이동 배치안을 작성하는 것은 효율성이 낮다고 판단한 것인데, 방위성은 개인 정보, 상사의 평가, 과거 인사 사례 빅데이터를 인공지능을 활용하여 인사이동 대상자들을 어디에 배치할지 결정하고, 필요하면 인사 담당자가 수정하는 형태로 인사 업무의 효율성을 높이고 담당자의 부담을 줄이겠다는 계획이다.

2. 우리나라의 국방 인공지능 현황

우리나라의 인공지능 정책은 <그림 12>와 같이 “IT 강국을 넘어 인공지능 강국으로!”라는 비전 아래 전략을 수립하였으며 인공지능 생태계 구축, 인공지능 활용, 사람 중심의 인공지능 구현을 3대 핵심 전략으로 선정하고, 핵심 전략별 9대 전략과 100대 실행과제를 제시하였다.



<그림 12> 인공지능 국가전략 비전 및 목표(정부)

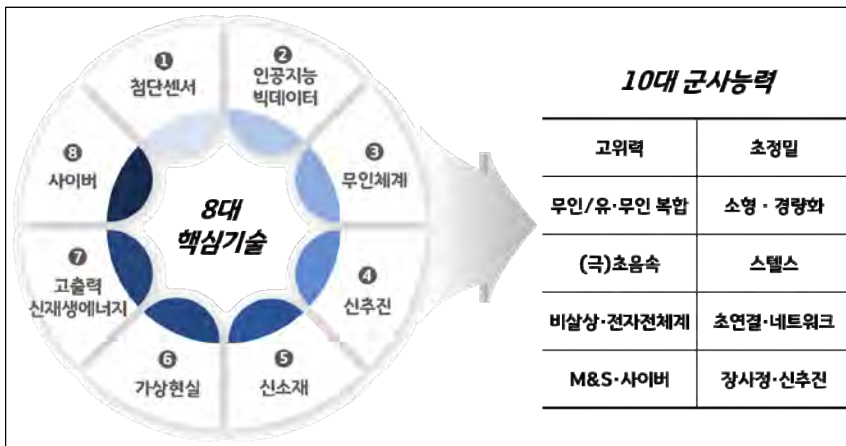
또한 국가 인공지능 전략의 최상위 컨트롤타워로는 법정위원회인 지능정보화협의회, 대통령 직속의 4차산업혁명위원회가 설치 및 운영되고 있으며 2021년부터 4차산업혁명위원회는 인공지능 전략 추진의 범국가위원회로 운영될 예정이다.

이에 발맞춰서 국방부 역시 국방개혁 2.0의 “4차 산업혁명 기술의 국방분야 적용”의 목표 전략을 구체화하여 2019년 1월 “4차 산업혁명 스마트 국방혁신” 계획을 공표하였으며 해당 계획에는 인공지능 관련 과제가 다수 포진되어 있다.

국방부의 스마트 국방혁신은 서론에서 언급한대로 국방운영, 기술 및 기반, 전력체계의 3개의 분야로 구성되어 있으며 국방운영 분야의 4개의 대과제 모두 인공지능이 적용된 시스템 구축사업이 포함된다. <표 4>와 같이 기술 및 기반 분야 3개의 대과제에서도 인공지능 기술 적용에 필수적인 인프라 구축이 포함되며, 특히 전력체계 혁신 분야에서는 <그림 13>과 같이 4차 산업혁명 기술 적용 무기체계 확보를 위해 개념과 기술이 복합된 소요기획 프로세스를 정립하고 8대 핵심기술과 이를 적용한 10대 군사능력의 대표전력을 확보하겠다는 계획을 제시하였다(이광재, 2021). 이때 제시된 8대 핵심기술은 인공지능 기술이 뒷받침 되지 않는다면 구현이 어려운 것이 대부분이다.

<표 4> 스마트 국방혁신 분야별 과제 현황(국방부)

분야	대 과 제
국방운영혁신	① LVC 기반의 실전형 워리어 및 부대육성 ② 빅데이터를 활용한 장병 삶의 질 개선 ③ Life Cycle 국방자원관리를 통한 효율성 향상 ④ 주요 기술분야 민관군 상생발전
기술기반혁신	⑤ 초연결 네트워크 구현 ⑥ 사이버 공간 우위 확보 ⑦ 제도혁신을 통한 스마트 국방혁신 여건 보장
전력체계혁신	⑧ 무기체계 핵심 선도기술 확보 ⑨ 4차산업혁명기술 적용 무기체계 확보



<그림 13> 8대 핵심기술과 10대 군사능력(국방부)

하지만 우리나라의 국방분야에서 인공지능에 대한 발전계획은 대부분 나열식 형태의 개념위주로만 설정이 되어 있으며, 특히 국방 인공지능의 컨트롤타워가 부재하고 전담조직 역시 국방부 본부 내 편제를 기준으로 1명에 불과하는 등 내실있는 추진이 제한된다. 또한 앞서 분석한 해외의 사례에서 국방 인공지능의 적용과 관련된 관점에서도 세계를 선도하는 미국과 비교한다면 그 격차가 상당하다고 볼 수 있다.

그러므로 우리나라 역시 국방 인공지능 기술 개발과 적용을 서둘러야 할 필요성이 있으며 구체적인 이유는 아래와 같다.

첫째는 미국의 3차 상쇄전략을 통해 알 수 있듯이, 미래전의 핵심이 인공지능에 기반한다는 것이며, 둘째는 전장관리 영역뿐만 아니라 국방 자원관리 영역에서 인공지능 기술의 적용과 활용이 되어야만 엄청난 규모의 인적/물적 자원에 대한 효과적인 관리가 가능하기 때문이다. 마지막으로 데이터의 내셔널리즘 경향이 가시화되고 있다는 점이다.

앞서 언급한대로 우리군 역시 국방부 및 예하 각 군도 인공지능의 중요성을 인식하고 있으며, 특히 육군의 경우는 선제적으로 조직을 구성하여 인공지능 전략을 수립하고 육군의 필요에 맞게 인공지능 정책을 추진중에 있다. 하지만 최상위 조직인 국방부에 인공지능 컨트롤타워가 부재하다보니 각 군에 대한 지원, 조정, 통제가 제한되며 국방 차원의 인공지능 정책 수립과 평가 그리고 전문인력에 대한 관리가 제한되는 상황이다.

따라서 국방 인공지능 조직 역시, 국가 조직과 유사하게 국방 인공지능의 모든 분야를 망라하여 총괄할 수 있는 조직창설이 우선적으로 필요하다고 할 수 있다. 또한 국방 인공지능 조직에서 활동할 수 있는 전문인력 확보에도 관심을 기울여야 하는데, 이때 전문인력은 무엇보다 국방분야에 대한 이해를 충분히 하고 있는 인공지능 전문가가 필요하다.

하지만 인공지능 전문인력은 국방분야로 한정하지 않더라도, <표 5>와 같이 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로도 인력 부족 현상을 겪고 있으며, 기존 인력들도 미국 등 특정 국가에 편중된 상태이다. 우리나라의 인공지능 전문인력은 약 3000명 수준으로 판단된다 (김용민, 2019).

〈표 5〉 해외 국가별 인공지능 인력분포 현황('17년)

국 가	Top AI 인재수(명)	전체 AI 인재수(명)	Top/전체 AI 인재비율(%)
미 국	5,158	28,536	18.1
영 국	1,117	7,998	14.7
프랑스	1,056	6,395	16.5
캐나다	606	4,228	14.3
중 국	977	18,232	5.4
일 본	651	3,117	20.9

그러므로 국방 인공지능 발전을 위해서는 군 관련 전문지식을 갖춘 현역 군인을 대상으로 위탁교육을 통해 인공지능 전문가 양성이 필요하며 또한 국방 지식을 갖추고 있지 않더라도 인공지능을 현실의 문제에 적용해본 경험이 있는 인력을 확보하여 국방분야에 인공지능을 구현할 필요가 있다. 따라서 국방 인공지능 발전계획에는 반드시 조직과 인력양성 계획이 포함되어야 한다.

또한 국방 인공지능을 단기적으로만 추진한다면, 혁신적인 성과를 얻는 것이 제한된다. 따라서 국방 인공지능 정책을 지속적으로 추진할 수 있도록 중장기적 법제화 계획을 수립하는 것이 필요하다. 관련 법령이 제정될 때 해당 부처는 정기적으로 기본/추진계획을 수립하게 되고 예산편성의 의무를 이행해야 하므로 계획의 일관성, 연속성, 추진성이 보장이 된다.

특히 스마트 국방혁신 계획이 국방개혁 2.0에 연동된 상태로 추진되고 있지만, 명확한 법적 근거와 토대를 마련하지 못한다면, 향후 정책적 지속성을 보장받을수 없게 되므로 반드시 상위법령이 아니더라도 단기적으로 훈령이나 규정 수준에서라도 법령화 방안이 마련되어야 한다(한국국방기술학회, 2020).

〈표 6〉 국방 인공지능 법제화 방안에 따른 장단점 분석

법안 추진 방안	장 점	단 점
① 상위법령으로 별도 국방 인공지능/데이터법 신규 제정	<ul style="list-style-type: none"> • 별도 법령 제정시 국방 인공지능의 적용과 지속적 추진에 필요한 법정 예산, 조직확보 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 법 제정까지 장기간의 입법화 노력 필요 • 방위사업법, 국방정보화법 등 관련 법령과의 동반 개정 조율 등 부수적 이슈 발생가능
② 상위법령으로 현 국방정보화법 → 국방 인공지능 정보화법으로 개정	<ul style="list-style-type: none"> • 법 개정방식을 적용하여 제정보다 단기간 내 개정 가능 • 국방정보화법에 명시된 기존의 관련 계획 수립과 예산, 조직확보 근거 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 국방 인공지능은 국방 전 분야에 걸쳐 추진되어야 하는데 현행 정보화 사업 내로 국한될 수 있음
③ 훈령(규정) 수준의 국방 데이터, 인공 지능관리 규정 제정 후 중장기적 법령 개정	<ul style="list-style-type: none"> • 훈령은 국방부 내 단독으로 제정이 가능하여 단기간내 추진 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 법령보다 강제성이 약하므로 국방 전 분야에 대해 국방 인공지능 추진 제한 가능 • 훈령 제정 후 상위법령 추진 동력 약화 가능

IV. 국방 인공지능 활용 및 발전 방안

국방 인공지능 활용과 발전방안에 대해서는 인사, 군수, 작전, 교육훈련의 분야로 구분하여 다루었으며, 국방 인공지능 활용이 가능한 분야 및 현재 연구가 진행되는 부분까지도 다루어 서술하였다. 마지막으로 국방 인공지능 활용 간 고려사항에 대해서 언급하였다.

1. 인사분야

인사분야에서 국방 인공지능 활용이 가능한 분야로는 스마트 인사 관리체계, 스마트 의료 지원체계, 능동형 병영생활 기록체계 등이 있다.

(1) 스마트 인사 관리체계

현재 인사이동 관련 보직이나 교육선발 등 인사 소요시 국방인사정보체계를 활용하여 비정형 검색으로 대상자를 추출할 수 있으나 제한적에만 활용되고 있다. 또한 인사관련 정보로는 개인별 경력, 교육, 평정기록, 상훈, 면담기록 등과 같은 방대한 양의 인사 데이터베이스를 보유하고 있으나 일부 관련부서의 운영담당자에 의해 수작업으로 열람되고 분석을 하고있으며, 인사담당자에 의해 경험적, 감각적으로 업무가 처리되고 있는 상태이다.

따라서 보유하고 있는 인사 정보 데이터베이스에 국방 인공지능 기술이 접목된다면, 보직 관리시에는 해당직위, 요구조건에 적합한 자원을 쉽게 확인할 수 있으며, 인재선발, 전직지원 등 인사의 모든 분야를 통합해서 운용이 가능함으로 효율성이 증대되며 공정성까지 확보할 수 있을것으로 기대된다.

(2) 스마트 의료지원체계

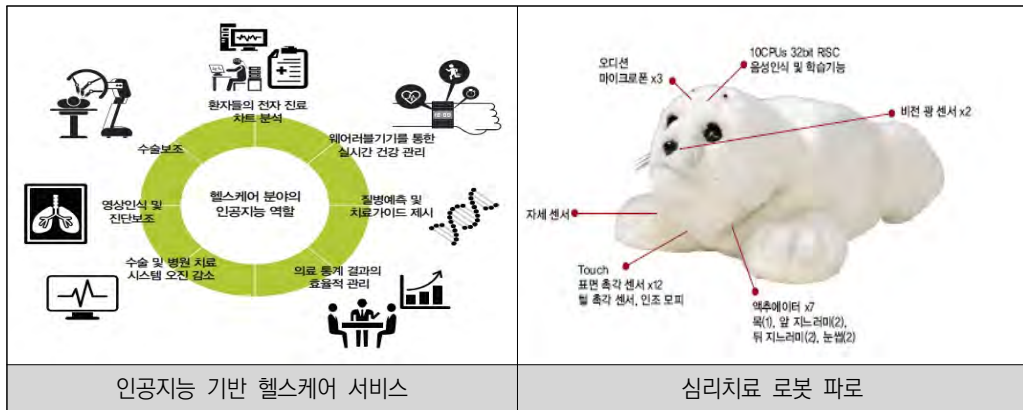
스마트 의료지원체계는 인공지능 활용을 통해 의료 서비스 관련 데이터와 질병 및 환자 데이터를 융합, 분석 처리하여 가장 적절한 치료방법을 제시해 줄 수 있는 전문프로그램을 개발하는 것이다. 특히 전투시에는 다양한 센서가 부착된 웨어러블 플랫폼을 통해 각개 전투원의 건강 상태와 관련된 다양한 데이터를 수집하고 이를 국방 인공지능 기술로 처리한다면 전투에 최적화된 건강 상태 유지가 가능하고, 전투 중 부상자 발생시에는 시기적절한 조치가 신속하게 이루어짐으로서 전투 생존율을 향상시킬 수 있을것으로 판단된다.

평시에도 웨어러블 디바이스 기반의 센서를 통해 심전도, 심박수, 혈당, 혈압, 수면패턴,

뇌파 등 획득한 다양한 신체 정보를 신체정보를 획득할 수 있으면 신체 및 심리 상태 분석 알고리즘을 기반으로 건강상태를 진단하고 예측하며, 건강 상태를 실시간으로 관리함으로써 도움이 필요한 군인을 찾아 회복하기 위한 필요한 조치를 즉각적으로 할 수 있는 헬스케어 가 가능하다.

이외에도 일본 심리치료 로봇인 ‘파로’와 같이 장병 심리적 안정을 위한 의료관리에도 인공지능이 사용된 로봇 활용이 가능하다. 파로는 바다표범 형태의 인공지능 로봇으로 대화뿐만 아니라 몸속의 인공지능 센서를 이용하여 접촉의 강도를 판단 후 각기 다른 반응을 보여준다. 기분 좋게 쓰다듬을 때와 때리거나 짓누를 때 살아 있는 듯 다른 반응을 보이는 것이다. 이러한 심리치료 로봇은 평소 일반 환자 치료나 병영 스트레스로 인한 우울증, 대인 기피증 환자 치료 등에도 활용이 가능할 것으로 생각된다.

이렇듯 <그림 14>와 같이 인공지능 기술이 활용된 의료지원체계를 통해 장병들의 건강 유지와 신속한 처치, 우울증과 같은 정신질환까지 능동적으로 대처함으로써, 전투 및 비전투 인원 손실 예방이 가능할 것으로 기대된다.



<그림 14> 국방 인공지능의 의료지원체계 지원 예시

(3) 능동형 병영생활 기록체계

군에서는 장병들에 대해 상급자가 면담을 하고 기록을 하는 연대행정업무 통합관리시스템을 운용중이다. 이 시스템에 국방 인공지능 기술이 결합이 되면, 단순히 입력 및 열람형 체계에서 능동적 분석체계로 기능 확장이 가능하다.

특히 장병에 대해 종합적이고 다차원적인 상담기록 분석과 내용 제공을 통해 보다 입체적인 장병관리가 가능해지므로 도움 및 배려병사에 대한 사고예방이 가능할 것으로 판단된다 (최현준, 2017).

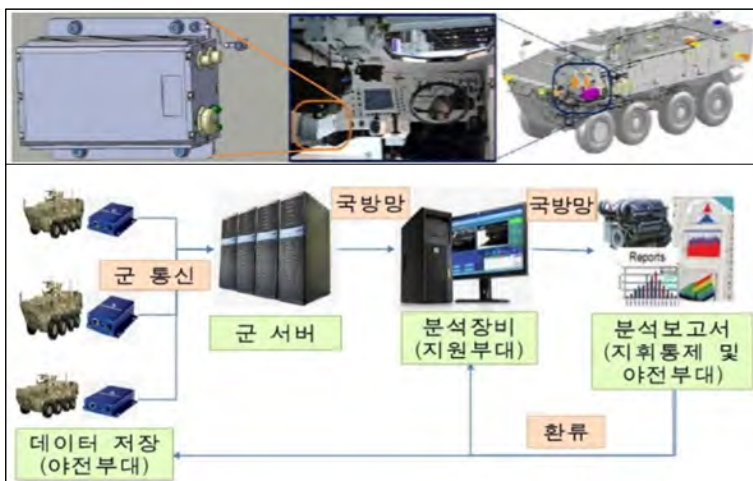
2. 군수분야

군수분야에서 국방 인공지능 활용이 가능한 분야로는 센서데이터를 활용한 상태기반 정비체계, 스마트 수리부속 수요예측, 스마트 공장, 스마트 물류체계 등이 있다.

(1) 센서 데이터를 활용한 상태기반 정비체계

앞서 3장에서 살펴보았듯이 미국은 장갑차와 항공기 등에 등에 센서를 부착한 뒤 인공지능 기술을 활용, 스마트 예방정비에 활용 중이다. 우리군의 경우에도 2017년부터 차륜형 장갑차와 수리온 헬기에 센서를 부착해 데이터를 수집중에 있으나, 인공지능 기술 및 빅데이터를 활용한 체계적인 분석까지 나아가지 못하여 스마트 예방정비로 이어지고 있지는 않은 상태이다. 이러한 문제점을 해결하고자 우리군은 센서 데이터를 활용한 상태기반 정비체계 구축을 목표로 하고 있으며, 시범사업으로 센서가 기부착되어 있는 장비에서 수집된 데이터를 바탕으로 상태기반 정비 적용에 대한 소요판단 도출 연구를 진행 중이다. 또한 센서 데이터 분석을 위해 관련 전문인력 양성도 추진하고 있으며, 장비의 성능개량 및 무기체계 신규 개발시에 센서기반 장치의 장착을 확대하고, 수집된 데이터를 국방 인공지능 기술을 활용하여 분석함으로써 스마트한 상태기반 정비체계로의 도약을 추진하고 있다.

따라서 국방 인공지능 기술 활용을 통해 <그림 15>와 같이 센서 데이터를 활용하여 상태기반 정비체계가 구축된다면, 장비의 고장률을 낮춤으로써 상시 전비태세 유지에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

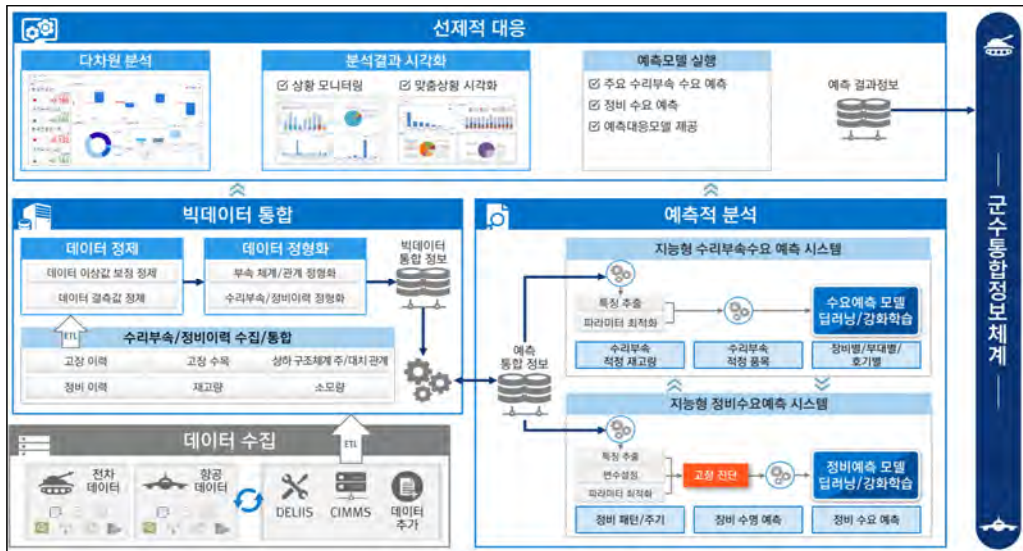


<그림 15> 센서데이터를 활용한 상태기반정비체계 예시

(2) 스마트 수리부속 소요예측

미국의 육군군수지원단은 2017년 스트라이커(Stryker) 장갑차에 장착된 다수의 센서로부터 수집되는 데이터를 하여 스트라이커 맞춤형 정비 스케줄을 개발하고자 IBM사의 인공지능 왓슨(Watson)을 도입하였다. IBM은 미 육군에 왓슨의 인지컴퓨팅 플랫폼을 활용, 예방정비를 포함한 클라우드 서비스를 제공한다. 현재 전체 스트라이커 장갑차 수리부속의 10% 정도를 왓슨을 활용하여 분석중인데, 이를 통해 큰 비용절감 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이에따라 미 육군은 향후 수리부속 배송요청 전체를 IBM의 왓슨으로 분석할 계획이다.

우리군에서도 미군과 같이 국방 인공지능을 활용한 수리부속 소요예측 체계를 구축하고자 노력중이다. <그림 16>과 같이 현재 우리군에서 사용하는 장비는 3만 여종이 넘고 관련 수리부속은 50만 여종이 넘는다. 이에 따라 장비의 가용성 측면에서 볼 때 정확한 수리부속 수요를 예측하는 것이 대단히 중요한 부분이지만, 현재의 시스템으로는 정확한 수리부속 수요예측이 제한되는 부분이 많은 것이 현실이다. 이를 해결하기 위해 2012년, 한국국방연구원(KIDA)에서는 수리부속 소요분석팀을 조직하여 장비별 수리부속에 대한 수요예측 모델을 개발중에 있으며, 2015년부터는 빅데이터 기반의 기계학습을 적용하여 수요예측 모델의 정확도를 향상시키고 있다. 또한 최근에는 심층학습 적용을 검토하고 있는 것으로 알려져 있는데, 이처럼 국방 인공지능을 활용한 수리부속 소요예측 시스템이 개발된다면 비용절감 뿐만아니라 수리부속에 대한 선제적인 확보와 정비기능으로 전비태세 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

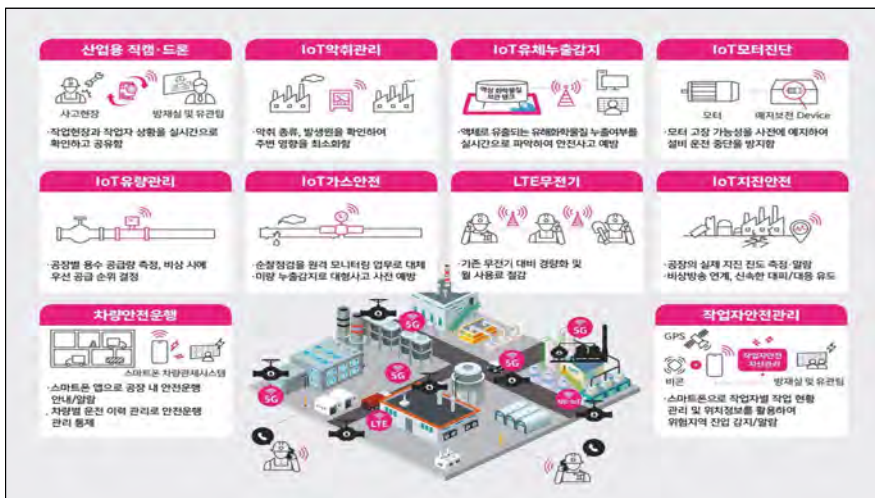


<그림 16> 머신러닝 기반 정비수요 및 수리부속 예측시스템 개요(위세아이텍)

(3) 스마트 공장

민간분야에서는 스마트 공장 구축을 통해 품질과 생산성을 향상시키고 공정시간을 단축하기 위해 노력 중이다. 우리군 역시 국방 인공지능을 활용하여 정비장과 같은 부대에 스마트 공장이 구현된다면, 가시화되고 지능화된 작업환경이 갖추어져, 보다 안전하고 신속한 정비지원이 가능할 것으로 예상된다.

실제로 우리군에서 추진 중인 육군 종합정비창의 스마트 공장 전환사업을 통해 살펴보면, 육군 종합정비창에서는 크게 4개 핵심 분야 위주로 스마트 공장 전환사업이 추진되고 있다. 먼저 정비공정을 위한 산업용 로봇 적용으로 3D(Difficult, Dirty, Dangerous) 정비공정에 로봇을 투입하여 작업환경을 개선하고 안전을 도모한다는 것이다. 다음은 자동화 설비 도입으로, 단순하고 반복적인 작업 공정에 대해 자동화를 구축하는 것이며, 이를 통해 생산성과 효율성을 향상시키고자 한다. 세번째는 IoT 기반 정비시스템 최적화 분야로 고장이 발생했을 때 성능시험장비와 같이, 정비 공정에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 고가의 장비에 사물인터넷(IoT) 기반의 센서부착으로 고장을 사전에 예측함으로써 정비용 장비의 가용성을 향상시키고자 한다. 마지막으로 무인기술 적용을 통한 안전 인프라 구축으로 크레인과 같이 안전사고 발생이 우려되는 곳이나, 궤도 고무사출 성형기처럼 화재의 위험이 높은 곳에 경보장치와 센서를 설치해 안전 및 화재사고를 예방함으로써 창정비 여건 개선을 도모하고자 한다. <그림 17>과 민간 분야 예처럼 국방 인공지능을 활용한 스마트 공장이 구현이 되면, 자동화 설비를 통해 정비역량이 향상되고, 전투부대 지원 역량과 장비 가동률이 향상될 것으로 기대됨으로써 군 전비태세 향상에도 크게 기여할 것으로 예상된다(신규용, 2019).



<그림 17> 민간분야(LG) 스마트 공장

(4) 스마트 물류체계

현재 사회의 물류분야에서는 기존 물류창고에 인공지능을 접목시켜 자동화 및 지능화된 스마트 물류창고를 도입하고 있다. 이를 통해 위험 요소는 감소시키고, 물류시간은 단축시키며, 향상된 정확성을 보여주고 있다.

그러나 현재 우리 육군을 기준으로, 운영중인 30여개의 물류창고 중에서 20여곳이 건축 후 30년 이상이 경과하여 노후화되었으며, 물류흐름을 고려하지 않은 배치와 인력에 의존한 작업 때문에 낮은 업무효율을 보이고 있다. 또한 군수정보체계와의 실시간 연동이 제한되므로, 군의 첨단 장비 도입으로 인한 변화된 물류환경에는 적합하지 않은 것이 현실이다.

육군은 앞서 언급한 문제점을 해결하기 위해, 30년 이상 노후화된 물류창고를 철거하고 민간에서 운용 중인 것과 같은 스마트 물류창고 건설을 추진하고 있다. 이 새로운 물류창고에는 여러가지 국방 인공지능 기술이 활용되는데, 자동으로 각종 부속을 옮기기 위한 자율주행차량과 테이핑, 포장, 그리고 밴딩까지 자동으로 이루어지는 자동 적송장비 등을 도입하여 원활한 물류흐름을 보장한다. 특히 <그림 18>과 같은 스마트 물류창고에 들어오는 모든 군수품은 군수통합정보체계와 연동해 통합적으로 관리함으로써 정확하고 신속한 군수지원을 가능하게 할 것이다. 육군은 스마트 물류센터 도입에 따라 저장능력은 60% 이상 향상, 물류처리시간은 40% 이상 단축, 노후화된 물류창고 유지·보수를 위한 관리비용이 절감될 것으로 예상된다(신규용, 2019).



<그림 18> 스마트 물류체계

3. 작전분야

작전분야에서 국방 인공지능 활용이 가능한 분야로는 전투·전투지원을 포함한 무인 자율 전투체계, 지능화 탐지체계, 군사자료 데이터 생성, 음성인식에 기반한 디지털 참모 등이 있다.

(1) 무인 자율 전투체계

무인 자율 전투체계 분야 중 가장 많이 떠오르는 분야는 <그림 19>와 같은 인공지능을 탑재한 전투 로봇이다. 현재는 무인장비 체계 위주로 개발되고 있으나 사람을 대신하여 전투를 수행하는 로봇에 인공지능 기술이 더해진다면 국방분야에 더 큰 효과를 발휘할 수 있다. 미 국방고등연구소에서는 인간크기의 인공지능 로봇 CHIMP를 개발한 것으로 알려져 있는데, 이 로봇의 주요특징으로 인공지능 센서를 통해 장애물을 스스로 판단, 극복하도록 도와주며, 팔과 다리에 장착되어 있는 고무밴드를 이용하여 지상이동이 가능하다. 또한 장애물 및 파편지역, 험준한 지형 등을 피해가는 경우에는 두 발로 이동도 가능하다. 원격으로 동작 조종과 경로변경이 가능하고, 특히 내장된 인공지능을 이용하여 장애물과의 충돌을 방지, 안전성을 유지할 수 있다. 팔과 다리에는 집게손이 장착되어 있어 사람과 비슷한 순발력과 강도로 물체를 잡는것도 가능하다[5]. 이러한 인공지능 로봇은 장애물 및 지형의 영향을 거의 받지 않기때문에 산악지역의 물자와 탄약 보급지원에도 유리하고, 지뢰지역 이동도 가능할 것이다. 특히 국방 인공지능이 적용된 로봇은 폭발물 처리, 화재방 오염지역 내 작전 등 현재 사람이 접근하기에는 매우 위험한 업무와 감시 등 다양한 임무를 수행할때 인간과 유사한 능력을 보여줄 것이라고 전망한다. 무엇보다 병력자원 감소가 예상되는 우리군의 상황에서는 인공지능이 탑재된 로봇을 통해 정찰, 작전 등의 임무를 인력을 대체해서 수행할 필요가 있다.



<그림 19> 인공지능 로봇

작전 간 활용되는 차량에도 인공지능 기술을 탑재하여 무인화가 가능하다. <그림 20>과 같은 무인 자율주행 차량은 운전자 없이 센서와 카메라 같은 장애물 인식장치와 GPS 기계와 같은 자동 항법 장치를 기반으로 변속, 가속, 조향, 브레이크를 운용하는 도로환경에 맞춰 스스로 제어해 목적지까지 안전하게 주행을 가능하게 할 수 있다. 이러한 무인 자율주행 차량이 군사적으로 활용된다면 악조건 상황 가운데서도 필요한 물자와 장비를 안전하고 신속하게 보급할 수 있을 것이다.



<그림 20> 무인 자율주행 차량

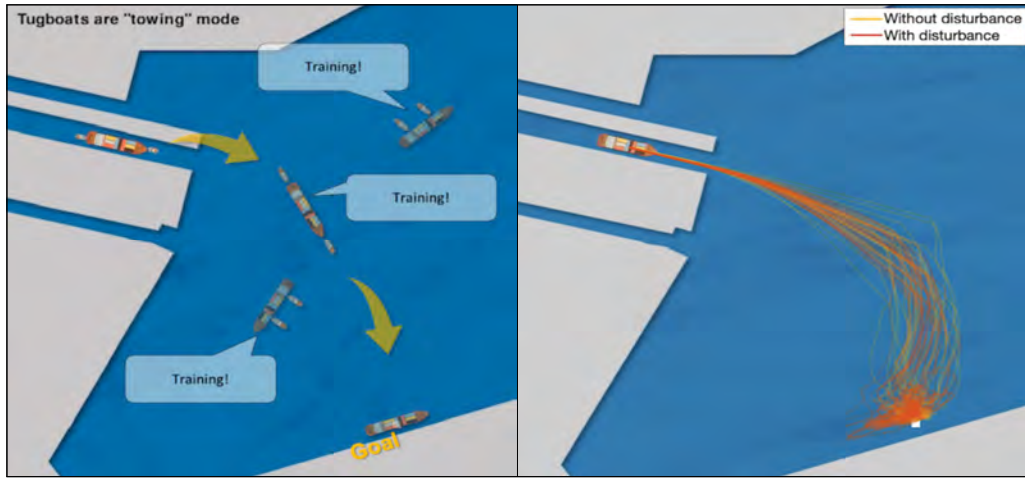
<표 7> 육군 군사용 로봇 개발계획(국방부)

1단계	2단계	3단계
[지뢰탐지 제거 로봇] • 폭탄, 지뢰탐지, 제거 • 무선영상 데이터 송신 • 연못 도하 • 무게 4.8t • 공병여단급 배치 [정찰용 휴대 로봇] • 정찰, 경계, 동굴탐사 • 영상 및 폭발물 감지센서, 무선통신, 원격제어 • 보병, 대테러부대 배치	[다목적 로봇] • 견마로봇 형태 • 지뢰탐색, 제거, 정찰, 경계, 순찰용 • 원격제어, 동영상 촬영 • 소, 중대급 부대 배치	[다목적 화력차량] • 무인화력 전투지원 • 주, 야간 영상센서, 대구경 직사포, 기관총, 대전차 미사일 • 기계화 여단급 배치 [무인 정찰 및 전투차량] • 정찰, 경계, 순찰용 • 도로 및 야지 자율기동 무선 표적 데이터 전송 지뢰지대 탐지 • 보병 여단급 배치

우리 육군은 이러한 무인 자율주행 차량을 포함하여 미국의 인공지능 로봇 CHIMP와 같이 <표 7>과 같이 군사용 로봇 개발 계획을 수립하여 추진중에 있다.

해군에 적용 가능한 무인 자율 전투체계는 해외에서 개발 및 실험중인 무인 군함, 무인 잠수정뿐만 아니라 군함을 출항시키기 위해 필요한 예인선에도 인공지능 기술을 통해 무인

화 적용이 가능하다. <그림 21>과 같이 군함을 군항에서 출항 또는 입항 시 예인선의 지원을 받아서 출·입항이 이루어지는데 이때 고도로 훈련된 도선사 및 예인선 운용 인력이 반드시 필요한 상황이다. 인공지능 기반으로 무인 예인선으로 출·입항이 이루어진다면 효과적이고 안전하며 무엇보다 24시간 신속한 군함의 출·입항이 가능할 것으로 기대된다(홍승조, 2021).



<그림 21> 강화학습을 이용한 예인선 자유택안 모형[20]

(2) 지능화 탐지체계

인공지능 기술을 활용한다면, 복잡한 전장상황에서 표적인식의 정확도를 향상시킬 뿐만 아니라 표적에 대한 더 많은 정보를 획득할 수 있다. 국방 인공지능 기반의 탐지체계는 적의 무장과 같은 정보에 대한 획득도 가능하며 적의 행동을 통해 의도를 파악하는 예측 기능까지 구현할 수 있다. 예를 들어, 지능화 탐지체계를 탑재한 UAV는 자율적으로 기동하면서 정찰임무를 수행하고, 물체를 탐지하였을 때는 단순한 전시가 아닌, 접촉한 물체와 관련된 다양한 정보를 전달할 수 있다. 지능화된 UAV 운용으로 적에 대한 정보를 보다 다양하게 획득하여 전투현장 또는 원거리에서 활동하는 전투원의 안전과 전투 효과를 극대화 할 수 있는 것이다.

현재 국내에서도 인공지능을 활용하여 이러한 기술의 한 부분인 이미지를 분류하거나, 객체를 식별하는 모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. <그림 22>와 같이 국방 인공지능을 탐지체계에 적용한다면 단순히 표적을 탐지하는 것을 넘어서 표적에 대한 정보를 포함하여 이미지, 비디오를 통해 전장 상황을 보다 직관적이고 쉽게 이해할 수 있을 것으로 예상된다.



〈그림 22〉 인공지능 기술을 활용한 표적탐지

(3) 군사자료 데이터 생성

앞서 지능화 탐지체계를 인공지능 기술로 구현을 하기 위해서는 데이터 축적이 필수적이다. 일반적으로 이미지 내에서 물체의 위치를 탐지하고 그 물체가 어떤물체인지 확인이 가능한 객체탐지의 경우, 통상적으로 물체 종류별 1만장에서 10만장 가량의 이미지 데이터가 필요하다. 하지만 북한과 같은 적성국가의 데이터는 다량으로 축적을 하는 것이 제한되는데, 이런 경우에도 〈그림 23〉과 같이 데이터를 인공지능 기법을 활용하여 생성이 가능하다.



〈그림 23〉 인공지능 알고리즘(GAN)을 통한 군함 이미지 생성

(4) 디지털 참모

국방 인공지능을 활용하면, 민간의 음성인식에 기반한 디지털 비서 서비스와 같이 디지털 참모도 구현할 수 있을 것이다. <그림 24>와 같은 업무수행이나 작전 임무 간 필요한 전문 지식, 지침이나 규정, 정보 현황, 적용 사례 등 각종 정보를 취합함으로써 지휘관이 간단하게 질문해도 지휘관의 의도에 맞는 가장 정확하고 효과적인 정보를 제공함으로써 지휘관의 지휘결심에 크게 기여할 수 있다. 이것은 지휘관만을 위한 것이 아니라 참모가 없는 소부대 전투지휘자들에게도 디지털 참모를 통해 각종 정보 및 현황을 제공하고 지원함으로써 임무 수행을 용이하게 할 수 있을 것으로 기대한다(한국전자통신연구원, 2021).



<그림 24> 국방 인공지능을 활용한 디지털 참모 형상도[22]

4. 교육훈련분야

교육훈련 분야에서 국방 인공지능 활용이 가능한 분야로는 인공지능 과학화 전투훈련 분석체계, 가상현실 및 증강현실 기반의 시뮬레이션 훈련체계, 인공지능 대항군, 국외 교범/군사자료 번역 등이 있다.

(1) 인공지능 과학화 전투훈련 분석체계

KCTC 훈련은 육군 과학화전투훈련단(Korea Combat Training Center, KCTC, 그림 25)에서 실시하는 Live(실) 훈련으로 실제 전투와 유사한 훈련이다. 이러한 KCTC 훈련은 전투원이나 장비에 부착되어 있는 마일즈(MultipleIntegrated Laser Engagement

System, MILES) 장비를 통해서 많은 훈련정보들이 데이터로 저장되기 때문에, 훈련결과에 대해서 과학적인 분석을 가능하게 하고 훈련부대 뿐만 아니라 모든 부대에게 훈련에 대한 과학적인 피드백이 가능하도록 되어있다(박진영 등, 2021).

그러나, 훈련참가 병력의 개개인의 모든 정보가 마일즈 장비를 통해 수집되고 있는 것에 비하여, 평가와 분석을 하는 관찰관 및 통제관의 인원이 현저히 부족하고, 훈련종료 후 수집된 데이터를 상세히 분석하기에는 과도한 시간이 소요되기 때문에 개개인에 대한 피드백은 제한되고 지휘관 및 참모를 대상으로 하는 피드백이 주를 이루고 있다.

이러한 상황에서 국방 인공지능 기술을 활용하게 되면 수집되는 방대한 데이터를 신속하게 분석, KCTC 훈련 종료 시 개인별로 맞춤형 피드백을 제공해주는 지능형 교관(Intelligent Tutor)의 구현이 가능할 것이라 생각된다. 이를 통해 교육훈련의 성과를 향상 시킴과 동시에 방대한 데이터를 활용하여 인공지능을 고도화시켜 궁극적으로는 교육훈련을 지능화, 자동화하는 효과를 거둘 수 있게 될 것이라 생각된다(이희남, 2020).



〈그림 25〉 육군 과학화 전투훈련

(2) 증강현실 및 가상현실 기반의 시뮬레이션 훈련체계

시뮬레이션 훈련체계는 컴퓨터 과학, 시스템 공학, 소프트웨어 공학 등이 결합된 연구 분야로 전투원 또는 훈련부대가 다양한 전투체계에 속달되도록 디지털 가상모델을 구축한 것이다.

우리군 역시 〈그림 26〉과 같이 시뮬레이션 체계를 보유하고 있으며 이를 교육훈련에 활용하여 임무수행 능력을 향상시키고 있다.



<그림 26> 현재 운용중인 육·해·공군 시뮬레이션 훈련체계

그러나 현재의 시뮬레이션 체계는 다소 한계를 가지고 있다. 정해진 시나리오대로 흘러가면서 진행되며 통제자의 개입으로 이벤트가 부여되고 있고, 그래픽과 같은 수준이 현실 세계를 정확하게 묘사하지 못하여 훈련자의 긴장감이 다소 완화될 수 있는 등 아쉬운 부분이 존재한다. 따라서 이러한 시뮬레이션 훈련에 <그림 27>과 같이 국방 인공지능 기술이 결합되어 증강현실(Augmented Reality, AR), 가상현실(Virtual Reality, VR) 기반의 시뮬레이션 훈련이 이루어진다면 보다 향상된 교육훈련의 성과를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 27> 증강현실 장비를 활용한 지휘통제 훈련

가상현실 기반 훈련체계는 <그림 28>과 같이 공수, 특수전 등 전술훈련과 정비교육, 간호실습 등 주특기 훈련이나 보수교육 등에 활용이 가능하다. 훈련상황을 현실처럼 느낄 수 있도록 조성함으로써, 실전적이고 몰입감 높은 교육이 가능하다. 이를 통해 교육성과를 높임으로써 전투력을 향상시키고, 훈련비용의 예산절감은 물론 안전사고까지 획기적으로 감소

시킬 수 있다. 현재 우리 국방부는 군별 임무 특성을 고려하여 특수작전 모의훈련체계(육군), 잠수함 승조원 훈련체계(해군), 기지작전 훈련체계(공군)를 구축한다는 계획을 가지고 있다. 육군의 특수작전 모의훈련체계는 훈련자 전투행동 인식장비와 전술훈련용 VR 콘텐츠 개발 등 대테러 임무와 다양한 특수작전수행을 위한 지능형 가상훈련체계 개발을 목표로 하고 있다. 해군의 잠수함 승조원 훈련체계는 실제와 같은 잠수함 환경을 구현하여 다양한 상황에서의 반복숙달 훈련을 통해 팀워크를 향상시키는데 활용할 예정이다. 공군의 기지작전 훈련체계는 적 공격 상황을 가상으로 모사하여 부대의 작전수행 능력을 확인하거나 모의 훈련을 실시할 수 있도록 개발예정이다. 또한 인공지능 기술을 활용하여 높은 기술 숙련도를 요구하는 장비 정비교육을 위한 프로그램도 개발할 계획을 가지고 있다.



〈그림 28〉 가상현실 기반 훈련체계

(3) 인공지능 대항군

전쟁연습시 활용되는 같은 위게임의 경우, 현재는 대항군 인원을 별도로 차출하여 인간 전투참모단 간의 상호 훈련으로 이루어져 진행이 되고 있다. 위게임 모델에 인공지능 기술이 접목되면 인공지능 대항군과 훈련부대의 전투참모단 간의 훈련이 가능하게 될 것이다. 특히 수많은 훈련을 습득한 인공지능 대항군은 우리가 예상하지 못하는 전술을 구사함으로써

써, 훈련부대에 다양한 상황에 대한 훈련 기회를 부여해줄 수 있을 것으로 예상된다(이종관 등, 2019).

(4) 국외 군사교범/자료 번역

인공지능 알고리즘 중 문장을 맥락에 맞게 번역하는 기술인 RNN, 머신번역과 같은 알고리즘을 활용하면 국외 군사교범 및 자료에 대한 우리말로 번역이 가능하다. 인공지능을 활용하여 번역의 수준을 높이고 해외자료를 신속하게 번역하여 국방망을 활용해 배포를 한다면 번역과 인쇄발간의 시간을 단축시킬뿐만아니라 예산절감이 가능하며, 신속한 해외자료 공유를 통해 교육훈련의 효과를 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

5. 국방 인공지능 활용 간 고려사항

국방 인공지능 기술 활용에 대한 높은 기대감과 더불어, 예상되는 문제점에 대한 우려 역시 존재한다. 군, 정부 및 대학 연구소, 방산기업의 인공지능 관련 전문가들을 통해 국방 인공지능 활용시 예상되는 문제점에 대해 조사한 결과에서는 ‘데이터 확보에 따른 보안 문제’가 가장 많이 선정되었다(윤정현, 2020). 이는 국방 인공지능 활용 시 필수적인 데이터를 확보할 때, 까다로운 보안 문제에 대한 규제 개선이 필요할 것임을 의미한다. 특히 C4I 체계와 관련된 데이터는 작전 보안을 이유로 자료가 축적되지 않고 즉시 삭제되는 경우가 대부분으로, 이러한 전장체계 데이터를 저장하고 활용할 수 있도록 제도마련이 필요한 상황이다. 따라서 데이터가 비밀이라면, 유사한 형태의 공개 가능한 데이터 세트를 만들어서 이를 활용하여 데이터를 생성하거나 사전에 허가된 인원과 장소에서 비밀 데이터를 자유롭게 접근하고 인공지능 모형을 개발할 수 있도록 지원하는 것도 하나의 대안이 될 수 있다고 생각된다.

또한 인공지능 데이터를 확보하기 전에 제도적으로 필요한 부분으로 표준화가 있다. 현재 과학기술정보통신부에서는 인공지능 데이터에 대하여 표준화 작업을 진행중이며, 데이터 관련 품질에 대하여 개념과 범위 및 세부사항을 정립하고 인공지능 국제표준화 회의를 통해 세계 표준으로 정립을 추진중이다. 국방 인공지능 분야 역시 활용되는 데이터의 표준화를 위해 관련 규정을 제정하고 각 군에서 이를 준수할 수 있도록 통제해야 할 것이다. 데이터가 표준화가 되면, 체계 간 상호 활용도가 높아지고 변환 등 전처리에 대한 시간과 비용 감소가 가능해지고 데이터의 신뢰성까지 높일 수 있을 것으로 기대된다(조재규, 2020).

데이터의 편향성을 극복하는 것도 국방 인공지능의 중요한 고려사항 중 하나인데, 인공지

능이 정확도 높은 성능을 발휘하기 위해서는 양질의 데이터를 대량으로 확보하는 것이 중요하다. 또한 확보한 데이터를 바탕으로 균등하게 학습데이터와 검증데이터, 테스트 데이터로 구분하는 것도 중요한데, 만약 이 학습데이터가 편향되어 있을 경우 인공지능 모형의 성능이 저하될 수 있다. 실제로 미국의 인공지능을 활용하여 만든 범죄예측시스템의 경우, 인종차별적 편향이 내재되어 있었다. 백인 거주지역에 비하여 흑인 거주지역에 대한 경찰의 검문과 순찰이 잦아지며, 이를 통해 흑인 거주지역에서 범죄 발견율이 높아지면서 흑인 거주지역의 범죄율이 올라가게 되는 개연성이 생기게 된 것이다. 따라서 편향성을 갖지 않는 데이터 구성이 중요한 국방 인공지능의 요소인 것이다.

또한 이러한 데이터의 편향성과 함께 정확한 레이블링 작업도 필요하다. 기계학습 간 학습데이터의 가정은, 이 학습데이터가 정확하다는 가정에서 시작한다. 즉 학습시키는 데이터가 부정확하게 레이블링 되어있다면 당연히 그 결과물인 인공지능 모형 역시 부정확한 모형이 된다. 현재 이 레이블링 작업은 대부분 사람에 의해 수행되고 있기 때문에 레이블링 작업이 100% 정확하다고 보기는 어렵다. 레이블링 작업 간 오류가 발생하는 이유로는 작업자의 실수 및 공동으로 작업하는 경우, 작업자간 서로 상의한 의견으로 인해 발생 가능하다. 특히 두가지의 클래스로 구분하는 분류가 아닌, 다중분류의 경우에는 레이블링 오류 문제가 충분히 발생 가능하다.

데이터를 수집할 시 적대적 공격(Adversarial Attack)에 의해 국방 인공지능 모형의 성능이 저하될 가능성도 있다. 국방 인공지능 모형에 가능한 적대적 공격으로는, 학습과정에서 의도된 악의적인 학습데이터를 주입시키는 중독공격(Poisoning Attack), 추론 과정에서 데이터를 교란시켜 인공지능을 속이는 회피 공격(Evasion Attack), 구현된 인공지능 모델의 학습된 데이터를 획득하거나, 모델의 정보를 추출하는 탐색적 공격(Exploratory Attack) 등이 있다. 특히 정제되지 않은 오염된 데이터는 개발자가 의도하지 않은 중독공격을 유발시킬 수 있어 데이터 수집간 주의가 반드시 필요하다.

또한 현재 국방 인공지능 분야에서 활발히 연구가 이루어지고 있지만, 아직 완전하게 해결하지 못한 분야는 인공지능의 내부를 들여다 보는 것이다. 이것은 인공지능 시스템의 입력과 출력 간 의사결정과 판단과정이 어떠한 과정으로 이루어지는지 알 수 없다는 것을 의미한다. 딥러닝의 가장 큰 특징이 중간과정이 블랙박스 모형이라는 것 때문인데, 인공지능 알고리즘 내부가 우리 몸의 신경망과 같이 최대 수만에서 수억개까지 이르는 노드들로 구성되어 있기 때문이다. 이유를 명확하게 알아야 하는 군의 특성을 고려할 때 국방 인공지능은 설명가능한 인공지능이 되어야 완전한 사용이 가능할 것이다. 따라서 이러한 설명가능한 인공지능을 X-AI(eXplainable Artificial Intelligence)라고 하며 최근 활발하게 연구되고 있다(강동수, 2021).

다음으로 국방 인공지능 기반 무기체계는 문서화가 반드시 필요하다. 현재는 무기체계 시스템 연구개발 절차에 따른 산출물과 같은 인공지능 기반 무기체계 개발의 문서화 기준이 부재한 상태이다. 무기체계는 한번 개발되면 장기간 사용되는 것을 고려할 때 인공지능 시스템의 문서화를 위한 노력이 필수적인데, 문서화를 통해 무기체계의 운용, 정비자가 상시 바뀌더라도 유사한 성능 발휘가 가능하면서, 동시에 개발자와 사용자 간의 커뮤니케이션을 촉진시키고, 무기체계의 투명성이 증대되며, 재사용성 증가 등이 가능하게 된다.

마지막으로 국방 인공지능 구현의 가장 중요한 고려사항은 윤리적인 문제이다. 현재 인공지능의 책임과 윤리문제에 대한 논의가 전 세계적으로 이루어지고 있다. 실제로 인공지능 챗봇이나 면접 프로그램, 앞서 언급한 범죄예측 프로그램에서처럼 남녀간의 성적 차별, 인종 차별에 대한 윤리적인 문제들이 발생하고 있으며, 인공지능을 통해 실행된 결과는 과연 누가 책임을 져야 하는 것인가에 대한 인공지능 제어권과 같은 문제 역시 지속적인 논란이 되고 있다[4]. 세계 각국에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 윤리적 가이드 라인을 제정하는 등 인공지능 윤리의 중요성을 인식하고 원칙을 정하며 구체적인 고려사항은 시민사회와 공유함으로써 절차와 내용의 투명성을 확보하고자 노력중이다(오승환 등, 2020).

또한 국방 인공지능을 활용한 무기체계의 경우 가장 큰 윤리적으로 논란이 되는 주제는 치명적 자율무기(Lethal Autonomous Weapons, LAWs)에 대한 부분이다. LAWs의 경우 공격명령을 내리는 주체가 사람이 아니므로 ‘기계가 사람을 죽이면 안된다’는 윤리적 문제에 직면한다. 국제법상 자위권적 공격인 경우에도 적의 공격 위협이 임박한 상태에서, 이를 막을 다른 수단이 없을 때 위협 정도에 비례하는 수준으로만 허용된다는 것에 비해 LAWs 경우에는 이를 적용하는 것이 제한되기 때문이다. LAWs와 같은 무기체계를 개발하는 것을 인간의 존엄성에 어긋나는 행동이라 판단하여 개발을 거부하는 학자들도 나타나고 있다. 따라서 이러한 국방 인공지능의 윤리적인 문제에 대한 논의와 해결이 반드시 필요하다.

V. 결론

4차 산업혁명에 따른 변화는 이미 시작되었으며, 그 변화의 중심에는 인공지능과 같은 새로운 기술의 발전이 존재한다. 특히 인공지능은 우리의 사회, 경제, 안보 등 모든 부문에 걸쳐 패러다임을 변화시키고 있으며 국방분야 역시 변화의 물결앞에 서있다.

본 논문에서는 국방 인공지능이 무엇이며, 현재 우리군이 추구하는 스마트 혁신과 국방 인공지능이 어떤 관계인지, 또한 전 세계 다른 국가에서는 국방 인공지능을 어떻게 추진,

적용하고 있는지 살펴보았다. 또한 우리군이 앞으로 적용할 수 있는 국방 인공지능 분야를 정리하였으며, 국방 인공지능 활용 간 발생 가능한 문제점과 해결해 나가야 하는 부분들에 대해서도 언급하였다.

앞서 언급한 대로 인공지능 기술 개발에 대한 세계 각국의 글로벌 경쟁은 이미 진행되었으며, 미국·중국·러시아 등 세계의 주요 강대국은 국가안보를 위하여 국방 인공지능의 개발을 주요한 국방전략으로 채택하였다. 우리군 역시 변화될 전장환경에 능동적으로 대처하고, 인구감소로 인해 이어지는 병력자원 부족으로 인한 국방력 약화에 대비하기 위하여, 국방 인공지능을 미래 군사혁신의 동력으로 활용해야 한다.

그동안 우리는 수없이 국방개혁과 혁신을 외쳐왔으나, 그간의 국방개혁과 혁신이 결과없이 개혁의 당위성만을 외치고 있지는 않았는지 다시한번 돌아볼 필요가 있다. 국방개혁 2.0에서 추진하는 첨단기술군 육성, 병력 절감, 군구조개선과 자원의 효율적 관리, 획기적 예산 절감은 개혁의 목적이 아니라 결과여야 한다. 국방개혁과 혁신의 효과는 말로 앞서기보다는, 과학기술이 기반이 되는 인공지능을 국방 전 영역의 목적에 맞게 적용하고 활용하고자 하는 현재 노력의 과정에서 자연스럽게 성과로서 얻어질 수 있는 결과인 것이다.

우리군의 국방 인공지능에 대한 기술개발과 적용은 이제 시작단계이다. 지금부터라도 국방 인공지능 전략과 로드맵을 철저하게 수립하고, 우선적으로 조직을 구성하고 인력을 확보하여야 한다. 또한 데이터와 클라우드, 네트워크 등 인공지능 기반 인프라를 구축하는 것과 동시에 관련 제도를 개선하고 거버넌스 구조를 확립하면서 국가적 지원을 확보한다면 분명 가까운 시기에 스마트 국방혁신의 성과를 거둘 수 있으리라 확신한다.

〈참고 문헌〉

- 강동수. 2021. “미래 국가안보를 위한 AI-기반 무기체계 개발”, 국가안전보장문제연구소, 안보현안분석, 182호.
- 강태우·하길문·김병주. 2020. “4차 산업혁명 스마트 국방혁신 성과와 발전방향”, 한국방위 산업진흥회 국방과기술, 502호.
- 김용민. 2019. “주요 국가별 인공지능 (AI) 인력양성 정책 및 시사점”, 보건산업브리프, 276호.
- 김종호. 2018. “인공지능 시대의 윤리와 법적 과제”, 과학기술법연구, 24권, 3호.
- 김철·유기용·안진희. 2014. “인공지능 (AI) 의 발전과 국방분야 적용방안”, 국방과 기술, 428호.
- 박진영·김정환·김채동·김태성·문호석. 2021. “여단급 KCTC 훈련의 곡사화기 전투 결과 분석”, 한국군사학논집, 77권, 1호.
- 신규용·이종관·강광희·홍원기·한창희. 2019. “국방군수분야에서 인공지능 (AI) 기술의 활용실태 분석 및 발전방향 제시”, 한국디지털콘텐츠학회, 20권, 12호.
- 양정학. 2021. “중국의 인공지능 (AI) 정책과 군사현대화에 관한 연구-AI 기술의 군사적 활용을 중심으로”, 한일군사문화연구, 31, 113-146.
- 오승환·이주량·최병삼·임영훈·윤정현·추수진·이제영. 2020. “인공지능 기술 활용 강국을 향한 과학기술정책 제고 전략”, 정책연구, 1-405.
- 윤정현. 2020. “국방 분야의 인공지능 활용성 제고 방안과 시사점”, 과학기술정책연구원.
- 이광제. 2021. “스마트 국방혁신 추진현황 및 발전방안 고찰” 한국IT서비스학회, 20권, 1호.
- 이수훈·유영철. 2020. “러시아 안보·국방 분야의 인공지능 기술 도입과 개발 현황 : 분석과 한계”, 중소기업연구, 44권, 3호.
- 이종관·한창희. 2019. “미래전과 국방 인공지능 체계”, 한국통신학회논문지, 44권, 4호.
- 이희남. 2020. “선진국 과학화훈련 추진동향과 육군 추진방향:LVCG훈련체계를 중심으로”, 선진국방연구, 3권, 2호.
- 정유현, 김성남, 박혜숙. 2020. “제4차 산업혁명 기반의 국방과학기술 개발 동향”, 전자통신동향분석, 35권, 6호.
- 정춘일. 2019. “4차 산업혁명 시대의 국방 스마트 전략 방향”, 한국통신학회지(정보와통신), 36권, 6호.
- 조재규. 2021. “국방 인공지능 인프라 분석 및 발전방안. 국방정책연구”, 130호.

- 최근하, 오재진, 김영길. 2020. “美 국방부 및 육군의 인공지능 (AI) 전략이 한국군에 주는 시사점”, 한국방위산업학회, 27권, 1호.
- 최현준. 2017. “국내외 인공지능 동향과 국방 활용 방안”, 한국통신학회지(정보와통신), 34권, 11호.
- 홍승조. 2021. “강화학습을 이용한 예인선 지원 선박의 자율접안”, 한국과학기술원 석사 학위 논문.
- 한국국방기술학회. 2020. 『국방 인공지능 발전계획 수립연구』.
- 한국전자통신연구원. 2020. 『지능정보사회로 가는 길: 기술발전지도 2035』.
- 한국전자통신연구원. 2021. 『지휘관들의 의사결정지원을 위한 AI 군참모 기술동향』.
- 한국정보화진흥원. 2019. 『미국 인공지능(AI) 관련 최신 정책 동향』.
- 해외 ICT R&D 정책동향. 2017. 『일본의 인공지능(AI) 정책 동향과 실행전략』.

육군 과학화전투(KCTC)훈련 발전 방안 연구

: 훈련결과 빅데이터에 의한 훈련부대 객관적 진단과 평가 중심

국방대학교 교수 문 호 석

- I. 서론
- II. KCTC훈련결과 분석의 현실태 진단과 중요성
- III. KCTC훈련결과 분석 방법론 제안
- IV. KCTC훈련결과 분석을 위한 Road-map
- V. 결론

요 약

본 연구에서는 KCTC훈련의 본질인 “실전에서 승리하는 훈련부대 육성”을 실현하기 위해서 기존연구들의 한계점을 분석하고 이것을 기초로 8가지 사항을 중심으로 KCTC훈련결과 분석 방안을 제안하였다. 또한, 이러한 8가지 발전 방안에 대해서 연도별로 어떤 추진과정으로 진행되어야 하는 지에 대한 연구발전방향 Road-map도 함께 제시하였고, 누가 중심이 되어서 연구해야 하는 지에 대한 연구자의 의견도 반영하였다. 본 연구에서 제안하는 발전방안들을 정책입안자와 KCTC단에서 관심 갖고 필요에 맞게 추진한다면 KCTC훈련의 본질에 한 걸음 다가설 수 있을 것으로 기대한다. 특히 데이터 축적과 관련된 부분은 시간이 늦어지면 늦어질수록 축적을 못하는 것들이 많아져서 많은 손해를 보게 되는 부분으로 우선적인 관심과 노력이 필요하다.

I. 서론

과학화전술훈련체계는 과학적인 방법으로 훈련을 설계하고 실시하여 군의 전투력향상에 기여하고자 하는 훈련체계로 Live(실), Virtual(가상), Constructive(구성) 시뮬레이션으로 훈련이 진행된다(문호석·김수환, 2018). 특히 본 연구에서는 4차산업혁명의 핵심 ICT 기술이 집약되어 활용되는 Live 훈련인 KCTC(Korea Combat Training Center)훈련체계가 연구대상이다. KCTC훈련체계는 여러 기술이 하나로 합쳐져 과학화훈련이라는 산물을 만들어내는 것으로 4차산업혁명의 복합기술의 산물이라고 할 수 있으며, 이 자체가 하나의 기술로서 가치를 가진다(과학화전투훈련단, 2020). 또한, KCTC훈련체계는 군의 전투력을 증강시키는 과학기술의 산물로서, KCTC훈련체계의 활용과 발전은 국가 안보와 관련성이 매우 높다고 할 수 있다.

1. 주요 연구내용

본 연구의 주요 연구 내용을 선정함에 있어서 먼저 KCTC훈련의 본질이 무엇인지 즉 KCTC훈련을 하는 이유가 무엇이고, 어떤 목적을 위해서 하는 것인지에 대한 것과 KCTC 훈련과 관련한 선행연구의 한계점을 기초로 주요 연구내용을 선정하였다. 먼저 KCTC훈련의 본질은 “실전장에서 승리할 수 있는 부대로 훈련시키는데 있다”고 할 수 있겠다. KCTC 훈련을 통해서 훈련부대의 전투력이 향상되어 실전장에서 승리하는 부대로 준비시키기 위한 것이다. 즉 KCTC훈련을 야전부대가 훈련 참가 전에 많이 준비하게 되는데, 이러한 준비가 단순히 훈련을 위한 준비가 아니라 궁극적으로는 실전에서 승리하는 부대로 발전하기 위한 준비가 되어야 한다. 이러한 KCTC훈련이 본질에 충실하기 위해서는 먼저 KCTC훈련장과 훈련 진행이 실전과 유사해야 한다. 그래야 KCTC훈련을 잘한 부대가 실전장에서도 잘할 확률이 높기 때문이다. 또한, KCTC훈련이 본질에 충실하기 위해서는 훈련부대의 수준을 객관적으로 진단하고 부족한 부분을 평가해서 처방해 줄 수 있어야 한다. 본 연구에서는 KCTC훈련장과 훈련 진행의 실전과 유사하게 개선하는 부분은 간단하게 언급하고, 훈련부대의 수준을 객관적으로 진단하고 부족한 부분을 평가해 주는 방안과 이를 위해서 지속적으로 연구해 나가야 할 분야가 어떤 것인지에 대해서 중점적으로 다룰 예정이다.

본 연구에서 다루어지는 주요 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 2018년 여단급 KCTC훈련으로 확대된 후 실시한 훈련결과 데이터를 이용하여, 기존 대대급 KCTC훈련에서 볼 수 없었던 제병협동 요소를 포함한 데이터를 활용하여 훈련부

대의 수준을 진단 및 평가할 수 있는 방안을 제시할 것이다.

둘째, 훈련부대의 수준을 진단하고 평가하여 전투 승리요인을 도출하는 부분에 있어서 개선 방향을 제시할 것이다. 전투 승리요인과 관련해서 KCTC훈련 결과데이터 뿐만 아니라 훈련전문가의 술(術)적인 요소를 함께 고려하여 분석하는 방안을 제시할 것이다. 즉, 본 연구에서는 부대의 전투승패결과를 데이터로 정량화시키기 위한 평가요소 선정에 KCTC단의 군사훈련분석 전문가에 의한 정성적 평가인 사후검토결과 자료를 활용하는 방안을 소개한다. 사후검토결과 자료 분석을 통해서 훈련전문가가 중요하게 여기는 평가요소들 정리하고 이것과 전술교리를 연결시켜 전투의 승패결과 평가요소 선정에 반영할 것이다. 특히 이 부분은 KCTC훈련에 참가하는 부대의 훈련수준을 진단하고 평가하여 전투력 향상을 위한 처방을 주는 부분으로, 훈련전문가에 의한 술(術)적인 평가와 데이터에 의한 정량적인 평가로 훈련부대의 전투 결과를 새롭게 평가하는 방안을 제시하는 것이다.



〈그림 1〉 KCTC훈련 중 포병사격 절차와 관련된 데이터

셋째, 여단급 KCTC훈련 결과 중 전투결과 분석을 위해서 꼭 필요한 데이터들이 어떤 것인지를 식별하고, 現 KCTC 시스템 내에서 생성할 수 있는 것들과 現 KCTC 시스템을 개선해야만 데이터를 생성할 수 있는 것들을 분석하고 시스템 개선 사항을 제시할 것이다. 예를 들어 〈그림 1〉은 곡사화기 사격이 진행되는 과정과 각 과정별 생성되어야 할 데이터를 표시한 것이다. 곡사화기 부대를 평가할 때 사격량은 많으나 전과가 부족한 부대에 대해서 문제점이 무엇인지를 진단하기 위해서는 전과가 부족한 이유가 “① 표적을 잘못 획득해서인지, ② 표적은 제대로 획득했으나 사격지휘에 문제가 있었는지, ③ 사격을 엉뚱한 곳에 해서인지, ④ 피해평가를 잘 못해서 표적도 낙탄지점에 대한 보정이 없는 것인지 등” 무엇인지 알아야한다. 이를 알기 위해서는 각 과정별 데이터가 DB에 남아있어야 하는데 이런 데이터

가 현재 KCTC 시스템에서는 원활하게 기록되지 않는다.

넷째, KCTC훈련이 실전과 유사하게 되기 위해서 필요한 사항을 도출하여 개선사항을 제시할 것이다. KCTC훈련체계가 현재 육군에서 실전장과 가장 유사한 체계이지만, 아직도 부족한 부분이 많이 있다. 본 연구에서는 부족한 부분이 무엇인지 왜 개선해야 하는지 그리고 어떻게 개선하는 것이 필요한 지에 대해서 제시할 것이다.

다섯째, KCTC훈련결과의 객관적인 진단과 평가의 발전을 위해 지속적으로 관심 가지고 군에서 추진해야 할 부분에 대해서 상세하게 다룰 것이다.

2. 선행연구와의 차별성 및 독창성

본 연구는 KCTC훈련과 훈련 체계와 관련한 선행연구들과 다음과 같은 연구의 차별성을 가지고 있다.

첫째, 2018년 여단급 KCTC훈련으로 확대된 후 실시한 훈련결과 데이터를 이용하여, 기존 대대급 KCTC훈련에서 볼 수 없었던 제병협동 요소를 포함한 데이터를 활용하여 부대를 평가하는 방안을 제시한다.

둘째, KCTC훈련결과를 통해서 훈련부대의 수준을 진단하고 평가할 때에 KCTC훈련 결과데이터 뿐만 아니라 훈련전문가의 술적인 요소를 함께 고려하여 연구에 반영한다는 점이다. 이는 데이터로 표현이 제한되는 부분들을 훈련전문가의 전문지식과 식견을 활용하여 보완하는 것으로 선행연구에서는 반영되지 않은 방안이다.

셋째, 데이터에 의한 합리적인 판단을 할 수 있도록 데이터 구축과 관련된 내용들이 연구에 반영되어 있다. 제한된 데이터로만으로 훈련부대의 수준을 진단하는데 발생하는 제한점을 보완할 수 있는 체계 발전사항에 대해서 본 연구에서 다룬다.

II. KCTC훈련결과 분석의 현실태 진단과 중요성

1. KCTC훈련 소개

(1) 세계의 과학화전투훈련

우리나라의 KCTC훈련과 같은 과학화전투훈련은 다양한 국가에서 시행 중이다. <표 1>은 세계 주요국에서 현재 하고 있는 과학화전투훈련에 대한 예를 보여 주고 있다. 이러한

과학화전투훈련의 효과는 특히 미군의 실전장 사례에서 상당부분 검증되었다(박진영 등, 2021).

〈표 1〉 세계의 과학화전투훈련

구분	미국			한국	이스라엘	독일	일본
	NTC	JRTC	CMCT				
위치	California	Louisiana	Maryland	Inje	Negev	Magdeburg	Fuzi
면적	55×55km	20×20km	14×14km	18×35km	25×35km	18×35km	4×4km
훈련규모	여단급	여단급	대대급	여단급	여단급	대대급	중대급
훈련방식	전문대향군	전문대향군	전문대향군	전문대향군	훈련부대간 쌍방교전	훈련부대간 쌍방교전	훈련부대간 쌍방교전
센서	29종	-	-	51종	11종	11종	9종

특히 미군의 과학화전투훈련의 역사는 베트남 전쟁의 실패를 되풀이하지 않기 위해 국가 훈련센터(NTC, National Training Center)를 시작으로 많은 하드웨어와 소프트웨어의 발전을 이루었다. 미군은 NTC를 포함한 각종 훈련자료와 주요전장의 자료를 분석하여 군에 환류하기 위해 교훈분석센터(CALL, Center for Army Lessons Learned)를 창설하였다. 이러한 노력은 1991년 걸프전에서 과학화 훈련된 부대의 연속작전을 통해 압도적인 성과를 거두게 되는데 이 내용은 美의회보고서, RAND 연구소 보고서 등을 통해 확인할 수 있다. 또한, 美국방부는 1993년 합동준비훈련센터(JRTC, Joint Readiness Training Center)를 창설하여 변화하는 합동전장환경에 맞추어 실전적인 과학화훈련체계를 유지하고 있다. 이 훈련은 2003년 이라크전 이후 장기화된 전장 유지를 위한 병력 로테이션에 중요한 부분을 담당하였다(박진영 등, 2021).

이런 대규모 과학화훈련이 다른 훈련에 비해 가지는 중요한 장점은 바로 훈련의 결과 데이터를 남고 관리 된다는 것이다. 일회성 경험적 훈련에 그치지 않고 주요 교훈을 식별하고 교리 및 전투발전에 환류 시키기 위해서는 남겨진 데이터를 활용하고 분석하는 것이 매우 중요하다. 앞서 언급된 NTC, JRTC 등에서 만들어지는 방대한 데이터를 분석하기 위하여 CALL을 운용하는 것도 같은 이유다.

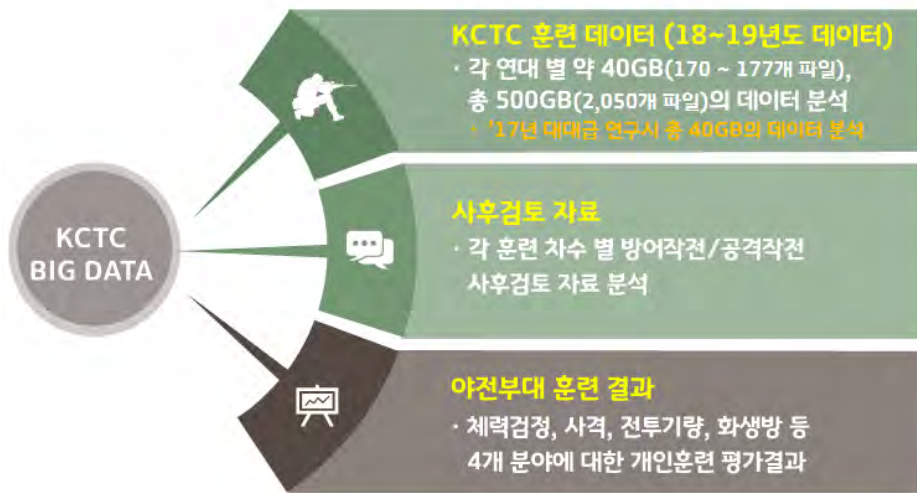
Live(실기동)로 과학화전투훈련을 운영하는 나라 가운데 훈련참가 제대의 규모가 여단급인 나라는 미국, 이스라엘, 우리나라 세 곳뿐이다. 그만큼 우리 군의 KCTC훈련은 세계적인 규모로 발전되어 운영되고 있다.

(2) KCTC훈련이란?

KCTC훈련은 훈련부대와 전문대항군 부대의 실 병력과 장비를 이용하여 상호 공방을 실시하는 훈련이다. 때로는 전문대항군이 아닌 쌍방훈련을 통해서 진행되기도 한다. 우리 군에 상황에 따라 전문대항군을 이용하거나 쌍방훈련을 통해 진행하고 있다¹⁾. 훈련을 통해 훈련부대는 전장의 마찰요소를 경험하고, 전투력을 향상 시킬 수 있다. 또한 훈련 중 인원 및 장비에 부착된 마일즈(Multiple Integrated Laser Engagement System, MILES) 장비를 통해서 위치 정보와 교전 결과가 저장되는데 MILES를 4차산업혁명의 핵심기술 중의 하나인 IoT(Internet of Things, 사물인터넷)의 센서라고 보면 된다. 이 정보를 활용하면 전투결과를 재현하고 과학적 분석을 통해 군의 교리·교범 적용에 정량적 근거를 뒷받침 할 수 있다. 미군의 경우도 우리의 과학화전투훈련단의 모체인 NTC를 운영하며, 훈련결과는 CALL에서 과학적 분석을 통해 그 결과를 군에 환류하여 전투력을 향상시키는 시스템이 구축되어 있다(한정욱 등, 2021).

KCTC훈련을 통해서 발생하는 데이터와 연관된 자료들이 <그림 2>에 정리되어 있다. MILES 장비를 통해서 저장되는 데이터는 1개 연대(여단)의 훈련 시에 약 40GB 정도이다. MILES 데이터 이외에도 사후검토자료가 PPT로 저장되어 있다. 이러한 데이터는 텍스트 정보로 현재까지는 문서로만 관리되고 있는데, 텍스트마이닝을 통해서 이러한 정보가 정량화 시키는 연구도 필요하다. 사후검토자료 이외에 관찰통제관의 기록이 담긴 자료와 훈련부대가 야전에서 각 개인에 대해서 평가한 야전부대 훈련 결과 자료가 있다. 여기에 더해서 KCTC 빅데이터에는 영상, 음성, 텍스트 등이 있는데 이러한 정보도 별도로 저장되어 있는데 이에 대한 분석 방법이나 계획도 연구가 필요한 분야이다.

1) 쌍방훈련은 2개의 여단이 훈련에 참가하여 쌍방간에 훈련을 진행하는 훈련을 말하는 것으로 전문대항군을 이용할 때보다는 보다 많은 부대가 KCTC훈련을 경험할 수 있게 된다. 전문대항군을 이용한 훈련은 전문대항군의 수준이 잘 유지되어 있기 때문에 훈련 진행이 원활하고, 훈련부대의 상대가 적 전술로 대항을 해주기 때문에 실질적인 적과의 교전이라는 장점과 또한 전문대항군이 잘 훈련된 부대이기 때문에 이러한 부대와 훈련을 하는 훈련부대도 잘 하는 부대와 함께 훈련을 하므로 훈련 수준이 향상된다는 장점 등을 예상할 수 있다. 그러나 전문대항군 부대와 훈련을 하게 되면, 쌍방훈련 시보다는 연간 훈련에 참여할 수 있는 부대의 수가 적어진다는 점 그리고 전문대항군이 너무 잘하기 때문에 훈련부대가 위축되어 제대로 기량을 발휘하지 못할 수도 있다는 등의 단점들이 존재할 수 있다.



〈그림 2〉 KCTC훈련에 활용할 수 있는 빅데이터

KCTC훈련은 2005년 대대급 규모로 시작하여 2012년까지 진행되었고, 2018년부터는 여단급 규모의 병력 및 장비가 참가하는 규모로 확대되어 현재까지 진행 중이다. 여단은 제병협동 및 합동전력을 바탕으로 독립작전이 가능한 최소한의 제대로서 여단급 규모의 훈련 참가는 실전과 매우 근접한 상황이 조성되었음을 의미한다. 이러한 환경하에서 이뤄지는 훈련결과를 데이터로 분석하고 의미있는 정보를 도출한다면 부대 및 육군의 전투력 향상에 도움이 될 수 있을 것이다.

(3) 여단급 KCTC훈련

대한민국 육군은 1997년 육군교육사령부 예하에 담당 부서를 구성하고 미국의 NTC를 모델로 하여 KCTC사업을 추진하였고, 2005년부터 대대급 과학화전투훈련 체계를 운용하였다. 2018년에는 향상된 과학화훈련을 위하여 여단급 훈련으로 확대되었는데, 이는 보병부대 중심의 훈련에서 제병협동과 합동작전 등의 실전적인 전투상황의 훈련 수요가 반영된 것이다. 과학화전투훈련에서 ‘전투훈련’이란 실제 전장에서 싸우는 방법대로 훈련하기 위해 훈련부대가 전문 대향군연대와 방어작전과 공격작전을 수행하는 것이다. 현재 KCTC훈련은 훈련 대상에 따라 2~3가지 유형으로 운영되고, 통상적인 훈련은 2주간 전투준비-1차전투-2차전투-전장정리로 구성되며 각 전투 종료 후 사후검토가 진행된다. 이런 훈련과정을 통해서 훈련부대는 실제 전장과 가장 유사한 마찰요소를 경험하게 되고, 훈련결과는 KCTC의 정보시스템을 통해서 데이터로 축적된다.

축적되는 데이터는 훈련에 참가하는 수 천명의 인원과 수 만개의 장비가 생산하는 빅데이터이다. 데이터 용량뿐만 아니라 영상 및 음성 데이터도 포함된 다양한 형태의 데이터들이다. 전투훈련간 발생 데이터의 유형은 <표 2>와 같다(박진영 등, 2021).

<표 2> KCTC훈련 발생 데이터 유형

유형	비율(%)	세부내용	전송주기
훈련자정보	93.6	훈련자상태, 위치정보, 보고시간, 자세, 지형	병력30초, 차량10초
PU(player unit) 자체진단	3.8	PU전원, 통신모듈, GPS, MILES 이상유무	10분
교전정보	1.7	사격정보, 피해, 피격유형, 지뢰, 장애물, 위규	교전 시
PU 통신상태	0.7	기지국과 PU간 통신상태	통신상태 변경 시
모의정보	0.2	직사화기, 곡사화기, 지뢰, 장애물, 헬기, 근접항공지원	모의정보 하달 시

KCTC훈련을 위해서는 훈련체계가 필요한데, KCTC훈련체계는 기반체계, 교전훈련장비, 훈련통제조직, 감시/분석, 전투훈련 모의통제체계의 5가지 기능으로 구성된다(과학화훈련단, 2020). 기반체계를 통해 유무선 통신수단을 이용하여 전투훈련장에서 이루어지는 제반 교신, 교전결과 등을 처리할 수 있도록 하며, 교전훈련장비를 이용해 훈련 참가 모든 인원, 장비, 시설, 물자의 상태와 교전을 구현한다. 이때 훈련통제조직은 훈련이 원활하게 진행되도록 통제하며, 감시/분석은 전장을 일정한 기준에 의해 훈련이 진행되도록 통제하면서 전술적 과오를 식별하여 분석한다. 모의통제체계는 전장실상과 유사한 환경을 제공하기 위한 체계로 모든 교전행위를 구현하고 그 결과를 제공한다.

KCTC훈련의 목표는 실전적 과학화전투훈련 자체와 훈련에서 얻는 교훈을 정책부서, 야전부대, 각 학교에 환류하는 것인데, 이를 위해서는 KCTC훈련 데이터를 과학적으로 분석하는 것이 필수적이다. 또한, KCTC훈련 데이터를 과학적으로 분석하기 위해서는 데이터분석 능력뿐만 아니라 KCTC훈련에 대한 개념, 훈련체계가 어떻게 구성되어 있는지, 전투행위와 전장상황 이해 등 국방 도메인 지식을 겸비한 빅데이터 분석가가 필요하다.

KCTC훈련은 실기동 모의 훈련을 기반으로 한다. 따라서 데이터를 분석하기에 앞서 훈련결과를 생성하는 장비의 원리와 종류에 대한 이해가 바탕이 되어야, 현재 KCTC를 통해 생성되는 실기동 훈련의 데이터의 제한 및 가정사항 등을 고려한 분석이 이루어질 수 있다.

〈표 3〉 KCTC훈련에 활용되는 장비와 모의 방법

Type		모의 방법	대 상
발사기	레이저	실탄 대신 표적에 레이저 또는 무선주파수를 발사	소총, 기관총, 전차, 대공화기, 대전차화기
	무선 주파수		K-4, IED K-11, 수류탄, 크레모아
감지기		발사기 신호를 감지하여 피해 부여	건물, 차량, 헬기, 전차, 자주포
모의/묘사장비		훈련통제본부와 송수신을 통해 해당 장비의 성능 및 기능 모의	곡사화기, 화학작용제, 전장효과묘사장비
Player Unit		병력, 차량, 건물 등에 설치되어 교전 정보를 수집, 처리, 전파	개인, 장비, 차량 건물
운용지원장비		관찰통제관 휴대하여 원격 제어	화기, 모의 장비

KCTC훈련을 위해서 활용되는 장비는 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 복잡한 전투상황을 모의하고 데이터를 수집하기 위해 50여종의 교전훈련장비가 사용되고 있다. 제병협동전투 및 합동작전 훈련이 가능한 여단급 전투훈련을 위해 매우 다양하고 복합적인 장비들이 실시간 운용되고 있는 것이다. 훈련자유닛(PU : Player Unit)는 송수신 기능과 소프트웨어를 이용하여 병력, 차량, 건물 등에 설치되어 교전 정보를 수집 및 처리한다. 운용지원장비는 관찰통제관이 휴대하여 훈련을 통제한다.

직사화기는 레이저 및 무선주파수를 사용하여 신호를 송수신하는 발신기와 감지기로 구성되어 있다. 곡사화기, 화학작용제 등은 모의/묘사장비 형태로 데이터가 생성되는 차이점이 있다. 즉, 직사화기는 사격에서 피해발생이 발신기와 감지기사이에서 직접적으로 데이터가 생성되나, 곡사화기는 훈련통제본부 시스템을 거쳐야만 한다. 따라서 장비별 Sensor의 원리를 이해하고 교전훈련장비 생성 데이터 이외에 추가적으로 생성되는 데이터가 관찰통제관의 운용지원장비 입력을 통한 것인지, 분석훈련관의 사후 입력을 통한 것인지 명확하게 인지되어야 한다.

2. KCTC훈련결과 분석의 현실태 진단

(1) 기존연구

KCTC훈련과 관련된 기존연구는 훈련부대의 훈련결과에 대한 분석이 주를 이루고 있으며, 주요 기존연구들은 〈표 4〉와 같다.

KCTC훈련과 관련한 기존연구는 연구진의 조사에 의하면 석박사 학위논문과 한국연구재단

등재후보지 이상의 국내 논문 13건이 조사되었다. 2005년부터 2012년까지의 대대급 KCTC훈련을 다룬 연구가 11건이고, 2018년부터 시작된 여단급 KCTC훈련을 다룬 연구가 2건 있었다. 연구의 대상이 된 작전형태로는 13건 가운데 공격작전만 다룬 연구가 7건, 공격과 방어작전을 동시에 다룬 연구 2건, 방어작전만 다룬 연구가 1건 그리고 훈련성과 측정에 관한 연구가 3건 있었다. 특히 2건을 제외하고는 대부분의 연구가 1개 대대의 훈련 결과 데이터를 이용했으며, 부대의 전투결과로 분석하기 보다는 개별 전투원에 대한 전투결과를 다루고 있다.

〈표 4〉 KCTC훈련관련 기존 연구 요약

년도	제목	내용
2010	데이터 마이닝을 이용한 과학화전투 훈련 성과 향상방안 연구	훈련 부대 전투원 대상 설문결과와 전투원 특성에 대한 빈도분석 실시 후 변수를 설정하여 로지스틱 회귀분석과 의사결정 나무 분석을 통해 예측모형 분석
2011	『강인한 훈련』을 통한 부대관리 향상방안	아전부대가 KCTC 훈련에 입소하여 훈련 효과를 달성할 수 있도록 교육훈련과 부대관리의 상관관계를 분석하고 강도 높은 교육훈련 수행 방안 등을 제시
2013	빅데이터 분석을 활용한 지상군 훈련 전투원의 생존시간에 관한 연구	훈련전투원의 생존시간을 반응변수를 다양화하여 회귀분석, ANOVA분석을 실시하여 분석
2014	빅데이터를 통한 공격작전 승리요인 효과측정 도구개발 및 분석 : KCTC 훈련사례를 중심으로	MILES장비로부터 자동저장된 자료를 중복자료 제거, 필요변수만으로 table생성 후 회귀분석 활용
2014	국방분야 빅데이터 활용방안 연구	회귀분석을 이용한 ‘목표까지 얼마나 진출하였나’ 와 하위요소들과의 관계 분석
2015	전술제대 공격작전간 전투원 생존성에 관한 연구	MILES로부터 자동 저장된 자료를 변수에 맞추어 테이블로 가공 후 분석
2015	전장리더십이 전투력에 미치는 영향에 관한 연구	전장리더십 평가요소 및 세부 평가항목을 활용 후 SPSS사용한 회귀분석
2017	영과잉 및 허들 회귀모형을 이용한 과학화 전투훈련 자료분석	증강된 보병대대의 공격작전에 대한 과학화 전투훈련 자료를 영과잉 회귀모형을 통해 분석 및 해석
2017	KCTC 훈련데이터 분석을 통한 대대급 이하 부대의 전투승리 요인 연구	독립 2표본 T검정, 회귀분석, 랜덤포레스트로 반응변수와 설명 변수간의 관계 분석
2017	KCTC 훈련데이터 분석을 통한 대대급 이하 부대의 전투승리 요인 연구	독립 2표본 T검정, 회귀분석, 랜덤포레스트로 반응변수와 설명 변수간의 관계 분석
2020	허들 및 영과잉 회귀모형의 베이지안 변화점 식별모형	구조적인 영을 가지고 있는 자료에 대한 변화점을 추정하는 방법을 연구하여, KCTC에서 전투의 단계가 변화하는 시점을 식별
2021	여단급 KCTC훈련의 곡사화기 전투 결과 분석	곡사화기 부대의 전투 승리요인을 분석하기 위해 사격량, 전과, 최종전투력을 이용하여 우수-미흡부대 구분 후 우수부대의 전투 승리요인을 확인함
2021	분할 선형 회귀모형을 이용한 여단급 KCTC 방어작전간 보병대대 전투 승리 영향요소 분석	여단급 KCTC훈련에 참가한 보병대대의 방어작전 간에 전투 승리 요인이 무엇인지를 정량적분석과 정성적분석을 병행하여 분석

대대급 KCTC훈련결과 중 공격작전과 관련된 연구로서 백창일(2013)은 대대급 이하 제대에서 지휘관의 작전 결함에 기여하기 위해 대대급 KCTC훈련 데이터를 이용하여 지상군 훈련 전투원의 생존시간에 대해서 통계검정과 회귀분석을 활용하여 연구하였다. 김각규와 김대성(2014)은 대대급 KCTC훈련 데이터를 이용하여 공격작전 간 정성적 기준의 전투 승리요인을 회귀분석을 통해 정량적으로 분석하였으며, 김각규(2014)는 COX 비례위험모형을 통해 대대급 KCTC훈련 데이터에서 전투원의 생존성에 대해 분석하였다. 김재오 등(2015)은 대대급 KCTC훈련 데이터를 이용하여 COX 비례모형 및 의사결정나무 모형을 통해 전술제대 공격작전 간 전투원 생존성에 관해 연구를 하였다. 또한, 김재오(2017)는 대대급 KCTC훈련 데이터에 영과잉 회귀모형을 통해 공격작전간 전투원의 능력 향상방안을 분석하였다. 김기성과 최태련(2020)은 대대급 KCTC훈련 데이터를 이용하여 허들 및 영과잉 회귀모형의 베이지안 변화점 식별모형을 통해 전투원의 피해에 영향을 미치는 요인을 분석하였다(김기성, 2020).

대대급 KCTC훈련결과 중 공격과 방어작전을 동시에 다룬 연구로서 윤여표(2015)는 KCTC훈련 부대의 설문을 이용하여 회귀분석을 통해 공격작전과 방어작전간 전장리더십이 전투력에 미치는 영향을 연구하였다. 최재영(2017)은 대대급 KCTC훈련 데이터와 KCTC단의 사후검토자료를 이용하여 회귀분석, 분류분석을 통해 공격작전과 방어작전간 대대의 전투 승리요인에 대해 연구하였다. 이 연구는 기존의 개별 전투원에 대한 연구와 일부 부대를 연구한 결과와 달리 2005년부터 2012년까지의 대대급 KCTC훈련에 참가한 모든 대대에 대해서 종합적으로 분석한 연구이다. 또한, 다른 KCTC훈련관련 연구들이 훈련 데이터만을 다루었다면, 이 연구는 KCTC훈련의 사후검토자료를 같이 다루면서 전술전문가에 의한 술(術)적인 정성적 평가를 같이 고려하였다는 특징이 있다.

대대급 KCTC훈련에 대한 연구로서 KCTC훈련 성과와 관련된 연구는 전은주(2010)와 김판열(2011)의 연구가 있으며, 이 연구들은 KCTC훈련을 통해서 발생한 데이터가 아닌 훈련참가자의 설문을 통해서 훈련성적을 분석한 연구이다.

여단급 KCTC훈련에 대한 연구로서 박진영 등(2021)은 여단급 KCTC훈련 데이터를 이용하여 Infographics 및 분류분석을 통해 여단급 KCTC훈련의 핵심 전투수단인 곡사화기 운용부대의 전투 승리요인에 대해 연구하였다. 이 연구는 여단급 KCTC훈련 데이터를 이용한 최초의 연구이며, 개별 전투원이 아니라 부대를 다룬 연구이며, 1개 훈련참가 부대를 다룬 것이 아니라 '18년~'19년에 훈련에 참가한 모든 부대를 다루고 있는 연구이다. 한정욱 등(2021)도 여단급 KCTC훈련결과 빅데이터를 활용하여 보병대대의 방어작전간에 전투 승리요인에 대한 연구를 진행하였다. 특히 이 연구는 KCTC훈련결과 MILES 자료인 정량데이터뿐만 아니라 KCTC단 훈련전문가에 의해 작성된 사후검토자료를 활용하여 정성적인 데

이터를 동시에 활용한 연구이다. KCTC훈련결과를 분석하여 기술적인 교훈을 도출하기 위해서 꼭 필요한 부분 중에 하나가 훈련전문가가 훈련부대를 평가한 정성적인(術적인) 평가에 대한 분석이다. 이 논문에서는 사후검토자료를 활용하는 수준으로 훈련전문가의 술적인 평가를 반영하였는데, 술적인 영역을 계량화 시키는 연구가 많이 필요하다.

(2) 기존연구의 현실태 분석 및 시사점

KCTC훈련에 대한 기존연구는 KCTC훈련결과 데이터를 과학적 수준의 분석을 통해 얻은 정보를 이용해서 전통적으로 훈련전문가에 의해서 평가된 사후검토로 분석하는 전통적인 연구 방식을 보완하는 성과를 이루었다는 점에서 중요한 기여를 하였고, 이러한 연구가 왜 해야 되는 지에 대한 동기를 부여하였다는데 있다.

그러나 선행연구는 다음과 같은 한계점들이 있다.

첫째, 과학화훈련이 갖는 중요성과 KCTC훈련이 시작된 이후의 기간으로 볼 때에 KCTC 훈련과 관련된 연구가 너무 적게 되었다. 이는 KCTC훈련결과 데이터를 획득하는데 있어서 보안을 포함한 여러 제약 요소로 인한 것도 있지만, 군에서 이러한 과학화훈련결과 분석 연구에는 많은 관심을 갖고 있지 않았기 때문이기도 할 것이다. MILES 장비를 활용한 과학화 훈련의 중요성을 군에서도 알기에 야전부대의 중대와 소대급에도 MILES 세트를 보급하여 확대시키고 있지만, 그 MILES 장비를 통해서 축적된 데이터를 분석하는 것에는 예산과 노력을 많이 투자하고 있지 않다. KCTC훈련결과뿐만 아니라 야전부대의 MILES 훈련결과를 제대로 분석해서 훈련한 부대에게 객관적인 훈련결과를 Feed-back 해주는 것이 중요하다. 이 Feed-back을 통해서 훈련부대가 발전하게 되는 것이고, 훈련을 직접하지 않은 부대에게도 교훈을 줄 수 있다.

둘째, 대부분의 기존연구는 전투승패를 통합적인 요소가 아닌 KCTC훈련 결과 데이터로부터 획득한 전과나 생존율과 같은 단편적인 면에 집중한 경향이 있다. 전투승패 결과를 이런 단편적인 것으로 평가하는 것은 결과 판단에 한계가 있다. 왜냐하면 어떤 경우에는 전과가 많더라도 전투의 목적을 잘 못 달성한 경우도 있고, 전투후의 전투력을 잘 유지했더라도 전체 전투에는 도움이 되지 않는 경우도 있기 때문이다. 이러한 전투승패를 판단하는 일에는 전투승패에 대한 올바른 평가 기준을 정하여야 하는데, 이때 정량적인 KCTC훈련결과 데이터뿐만 아니라 훈련전문가의 경험과 통찰이 필요하다. 즉 전투승패 결과를 판단하려고 할 때는 KCTC훈련 데이터와 함께 훈련전문가들의 術적인 식견을 같이 고려하여 종합적으로 평가하는 것이 필요하다.

셋째, 기존 연구들은 대부분 개별 전투원의 전투결과 분석에 치우쳤다. KCTC훈련은 개

별 전투원의 전투기량을 향상시키는 목적도 있지만, 더 중요한 것은 부대 전투력을 향상시키려는 것이기 때문에 KCTC훈련 참가 부대들에 대한 전투 결과와 전투승패 요인을 분석하려는 시도가 더 중요할 수 있다. 최재영(2017)과 박진영 등(2021)의 연구가 이런 점에서 좋은 시도라 볼 수 있다. 다만 이 경우도 훈련에 참가한 여단의 훈련수준을 진단하고 평가 방법론에 대한 연구는 존재하지 않는다. 여단의 훈련수준을 종합적으로 진단해서 평가하고 그것을 Feed-back 해 줄 수 있는 연구가 필요하다.

넷째, 대대급 KCTC훈련이 종료된지가 10여년이 되어가고, 2018년부터 여단급 KCTC 훈련이 시작되었는데도 여단급 KCTC훈련에 대한 연구가 제대로 이루어지지 않고 있다는 점이다. 김기성과 최태련(2020)의 연구도 2020년에 진행된 연구인데, 대대급 KCTC훈련 데이터를 활용하고 있다. 여단급 KCTC훈련 데이터 획득의 제한점이 있을 수는 있으나, 이제는 여단급 KCTC훈련 결과에 대한 분석에 중점을 둘 때이다.

다섯째, 여단급 KCTC훈련결과 데이터로 분석하려고 할 때 데이터 축적이 안되거나 제대로 쌓이지 않아서 분석할 수 없는 상황도 많다. 축적되도록 구축된 시스템이 제대로 동작해서 데이터가 제대로 축적되고, 또 훈련결과 분석을 위해서 꼭 필요하나 쌓을 수 있도록 데이터를 정의하고 구축하는 시스템이 갖추어지지 않은 부분을 빨리 개선해서 쌓을 수 있도록 방안을 마련해야 한다. 이 부분은 시간이 늦어지면 늦어질수록 그만큼 데이터가 축적이 안 되는 부분이기 때문에 가장 시급하게 여기서 처리해야 할 부분이다.

여섯째, KCTC훈련결과 빅데이터에 AI를 적용할 수 있도록 빅데이터 구축 및 분석 Road-map이 필요하고, 그에 따른 KCTC 빅데이터에 AI를 적용하는 방안 연구도 필요하다. 예를 들면, KCTC훈련을 하고 있는 전문 대항군의 움직임의 패턴을 잘 분석하여 모델링 하게 되면, 다른 시뮬레이션 즉 구성(constructive) 또는 가상(virtual) 위게임 모델에서 컴퓨터로 만들어진 가상의 대항군 즉 가상군(computer generated force, CGF)를 만들 수 있기 때문이다(문호석·김수환, 2018).

3. KCTC훈련의 본질

KCTC훈련의 본질은 KCTC훈련을 통해서 훈련부대가 달성하고자 하는 본질적인 목적과 관련된 것으로 오랫동안 KCTC훈련을 연구한 결과를 통해서 연구진이 정리한 내용이다.

훈련에 참가하는 여단이 실전에서 승리할 수 있도록 훈련시킴

KCTC훈련은 훈련에 참가한 여단이 실전에서 승리할 수 있도록 훈련시키는데 그 본질이 있다. 훈련은 잘하는데 실전에 도움이 되지 않으면 의미가 없기 때문에 실전에서 승리하는데 도움이 될 수 있도록 훈련이 실시되어야 하는 것이다.

KCTC훈련을 잘하면 실전에서 승리할 수 있는 확률이 높아진다는 확신이 깊어질 때에 모든 훈련참가자들이 진지해 지고 최선을 다할 것이다. 또한, KCTC단과 KCTC단을 통제해서 훈련을 진행시키는 육군본부와 육군교육사령부도 이러한 면에서 훈련부대와 KCTC단에 분명한 확신을 심어주어야 한다. 분명한 확신은 단지 의지만으로 되는 것이 아니라, 과학적이고 실제적인 것들이 뒷받침될 때 가능하게 된다.

이런 전제 조건하에서 훈련부대는 ① KCTC훈련을 주둔지에서 준비하고, ② KCTC훈련장에서 실시하고, 훈련결과에 대해서 Feed-back(훈련결과에 대한 객관적인 진단/평가/처방) 받고, ③ Feed-back대로 야전에 돌아가서 훈련하게 되면 실전에서 승리할 수 있는 부대로 진일보하게 되어야 한다.

훈련부대가 ①과 ③처럼 되기 위해서는, KCTC훈련결과를 객관적으로 진단/평가/처방해 줄 수 있을 때, 즉 ②가 될 때 가능하게 되는 것이다.

KCTC훈련의 본질을 제대로 실현하기 위해서 즉 훈련받은 부대가 실전에서 승리할 확률이 높아지기 위해서 첫째, 훈련부대가 실전과 유사한 환경에서 훈련이 진행될 수 있도록 KCTC훈련장과 훈련환경, 훈련진행이 실전과 유사해져야 한다. 이 부분은 육군본부와 육군교육사령부 등 상급부대에서 많은 관심을 가져야 하는 부분이다. 이 부분은 예산이 많이 반영되어야 하는 부분으로 KCTC단 독립적으로 추진할 수 있는 부분이 아니다. 실전과 유사하지 않은 환경, 예를 들어 포탄이 떨어지지거나, 지뢰가 폭발할 때 소리나 어떤 시각적인 효과가 없기 때문에 전장에서 느끼는 현상과 많은 괴리가 있다면, 이런 부분들은 다양한 방법과 아이디어를 통해서 개선되도록 노력해야 한다. 둘째, 앞에서 언급되었던대로 훈련부대의 훈련과정과 훈련결과를 객관적으로 평가할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 훈련전문가와 데이터과학자에 의해 만들어진 진단도구가 필요하다. 의사가 환자를 진단할 때도 진단도구가 명확해야지 환자의 상태를 올바르게 진단할 수 있게 되는데, 훈련결과도 훈련결과를 명확하게 진단할 수 있는 진단도구가 있어야 하는 것이다. 여기서 말하는 진단도구는 전투승패 결과 정의, 전투승리요인, 術적인 평가의 계량화, 정량화된 지표, 그리고 각종 정량화된 변수들을 말한다. 셋째, 훈련부대가 야전에서 KCTC훈련준비 또는 훈련 후 수준 유지 훈련을 위해서 과학화훈련도구가 필요하다. 현재 육군에서 추진하고 있는 중대 및 소대 마일즈장비를 통한 야전에서 중대 및 소대의 과학화훈련, 다양한 가상(virtual) 개인 및 장비 훈련체계, 그리고 전투21모델을 활용한 여단 전투지휘 능력 훈련 등과 연계된 훈련을 야전에서도 쉽게 사용할 수 있는 과학적 훈련도구가 필요하다.

4. KCTC훈련결과 분석의 중요성

KCTC훈련은 현재 육군에서 할 수 있는 가장 실전과 유사한 훈련이다. 따라서 모든 부대가 자주 KCTC훈련을 하게 된다면, 부대의 전투력을 증대시킬 수 있을 것이다. 그러나, 훈련장이 한 곳만 있어서 여단단위로 2년에 한 번 훈련하기도 어렵다. 여단장 재임기간을 고려할 때와 병사들의 복무기간을 고려할 때에 한 번도 KCTC훈련을 경험하지 못하는 경우도 많다.

이런 현실속에서 KCTC훈련장을 여러 곳에 만들어서 많은 부대가 자주 KCTC훈련을 경험하도록 하면 좋겠으나, 이런 생각을 바로 구현하기에는 시간이 많이 걸린다. 따라서 KCTC훈련을 경험해보지 않더라도, KCTC훈련을 성공적으로 실시한 부대들의 특징을 잘 분석해서 이런 특징이 있는 부대가 되도록 야전에 Feed-back을 주게 된다면 제한되는 부분은 많이 있겠지만, 간접적으로 KCTC훈련 결과를 공유할 수 있게 될 것이다.

특히 KCTC훈련결과와 훈련부대의 야전훈련과의 연관성을 분석해서 야전에서 어떤 훈련이 중요한 지와 그렇지 않은 지에 대한 지식을 도출하게 된다면 KCTC훈련을 경험하지 못한 부대도 야전에서 어떤 훈련이 중요한 지에 대해서 알 수 있게 될 것이다.

Ⅲ. KCTC훈련결과 분석 방법론 제안

본 장에서는 KCTC훈련이 본질에 충실하게 진행되기 위해서 필요한 KCTC훈련결과 분석 방법론에 대해서 제안한다. 제안하는 방법들은 지속적으로 추진되어야 하는 내용들로 구성하였고, 총 8가지에 대해서 다루었다. 이러한 내용들이 순서가 있게 추진되면 좋기에 그에 따른 계획은 4장에서 다룰 예정이다.

본 장에서 다룰 8가지 사항은 아래와 같다.

1. 정량적 분석과 술적 분석의 통합을 통한 전투승리요인 분석
2. 여단 훈련결과 진단 및 평가 방법론
3. ATCIS를 이용한 전투지휘와 KCTC훈련결과 데이터 융합 분석
4. KCTC훈련의 지휘참모과정을 이용한 의사결정지원 시모델 개발
5. 전투결과 데이터 구축/분석 및 필수 데이터 축적 방안
6. 전장가시화를 이용한 훈련결과 분석 디지털 상황판 구축
7. 장기적인 데이터 구축 방안
8. KCTC훈련결과와 야전 훈련결과 연관성 분석

KCTC훈련결과 분석 방법론 8가지에 대한 세부 내용은 각 사항별로 아래에 연구 필요성과 방법 그리고 연구해야 할 항목들에 대해서 상세하게 다루었다.

1. 정량적 분석과 術적 분석의 통합을 통한 KCTC훈련결과 분석

KCTC훈련결과를 분석할 때에 MILES장비 중심의 KCTC 빅데이터로만 분석하는 것이 아니라, 군사교리와 훈련전문가에 의해 전장에서 중요하게 여겨지며 평가되는 사항들인 術적인 분석이 함께 융합되어 분석하는 방법론이다. 특히 전투승패와 관련된 내용들은 術적 분석을 통해서 분석하고, 이렇게 분석된 내용을 KCTC 데이터로 표현하여 변수화하고, 다른 KCTC 데이터들과 연계하여 다양한 데이터 분석인 정량적 분석을 통해서 전투승리에 중요하게 영향을 미치는 요인을 분석하는 방법론이다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

MILES를 축적되는 데이터와 관찰통제관 기록 등의 KCTC훈련결과 데이터만으로 훈련부대의 훈련결과 즉 훈련부대의 전투승패(임무달성 여부와 우수 또는 미흡부대) 평가와 전투승패에 중요하게 영향을 주는 전투승리요인을 평가하는 것을 제한된다. 전과가 많더라도 혹은 최종 전투력을 잘 유지하더라도 그 부대의 요구된 임무를 달성하지 못할 수도 있다. 오히려 반대의 결과가 나올 수도 있다.

전장승패와 전투승리요인에 대한 평가와 정의는 오히려 군사 교리에 대한 지식과 훈련 경험 그리고 KCTC훈련지식과 현장에서 훈련부대를 평가한 KCTC단의 관찰통제관이나 훈련통제인원 그리고 사후검토인원이 결정한다. 훈련전문가에 의한 정성적인 평가가 중요한 것이다.

그러나 여기서 한 가지 고려해야 할 사항은 전투승패결과와 전투승리요인을 훈련전문가에 의한 평가만으로도 객관적으로 평가하기는 어렵다는 것이다. 훈련전문가는 자신이 관찰하거나 관심이졌던 사항에 대해서는 자세히 볼 수 있으나 그 외에 것들은 확인하기가 제한된다. 따라서 전체적으로 훈련결과를 평가하기에는 편향이 존재하기가 쉽고, 중요하게 평가해야 할 사항을 누락할 수가 있다.

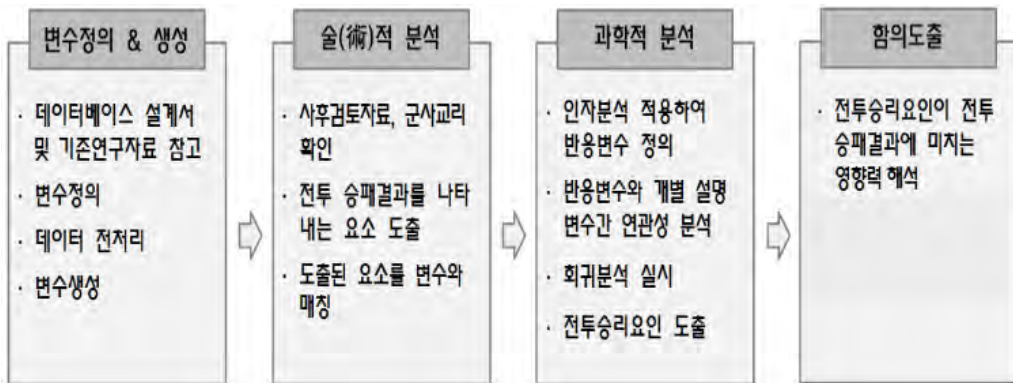
따라서 훈련전문가와 데이터과학자의 협업이 중요하다. 훈련전문가에 의한 전장승패와 전투승리요인에 대한 평가와 정의에 근거하여, 데이터과학자가 축적된 데이터로 전투승패와 전투승리요인에 대해서 정량화(변수를 만듦)하고 다양한 데이터 분석 방법을 적용하여 분석하는 것이 방법론이 필요하다.

(2) 연구해야 할 항목들

- ① 군사교리와 훈련전문가에 의한 술적분석을 통한 작전형태별 전투승패와 전투승리에 중요하여 영향을 미치는 사항들에 대한 정의
- ② 술적분석을 통해서 정의된 개념에 대해서 데이터과학자에 의해서 KCTC 데이터를 활용하여 변수로 표현함
 - 술적분석을 통해서 정의된 내용을 현재 축적된 데이터로 변수화시킬 수 있는 것을 변수화시켜 즉 데이터로 정량화하여 표현함
 - 현재 축적된 데이터로 술적분석에서 정의된 내용을 정량화 시킬 수 없을 때에 어떻게 정량화 시킬지에 대한 방안을 연구하여 KCTC단과 협업을 통해서 데이터 축적방안 제시
 - * 여기서의 방안은 시스템 개선이 필요한 부분도 포함
- ③ 전투결과에 대한 변수와 전투경과 중에 발생한 변수들을 정리
- ④ 이렇게 정의된 전투승패와 전투승리에 영향을 주는 변수들을 이용하여 원인과 결과 형태의 다양한 데이터 분석 방법론을 적용하여 전투승리에 영향을 주는 내용들을 과학적으로 분석하여 훈련부대가 전투에서 승리하기 위해서 평소부터 잘 훈련되고 개발되어야 하는 지에 대한 시사점을 제시해 줌

(3) 구체화된 방법론

연구는 <그림 3>과 같이 먼저 변수를 정의 및 생성하고, 다음으로 교리와 군사적 판단의 술적 분석과 훈련결과 데이터를 분석한 과학적 수준의 정량적 분석, 그리고 훈련부대 및 야전부대에 시사점을 제시하는 순으로 진행될 것이다.



<그림 3> 술적 분석과 정량적(과학적) 분석의 결합 방법론 예

변수정의 및 생성에서는 먼저 데이터에 대한 설명이 담겨있는 데이터베이스 설계서를 통해 데이터를 이해하고, 다음으로 기존 KCTC 훈련결과를 분석하였던 기존연구자료, 군사교리, 사후검토들을 종합적으로 참고하여 연구간에 필요한 변수를 정의하였고, 데이터 전처리 과정을 통해 변수를 생성한다.

술적 분석은 군사교리와 훈련전문가들이 판단하는 전투승패에 중요하게 여겨지는 사항들을 즉 전투승패결과를 나타내는 변수를 선정하기 위한 과정이다. 이를 위해서 군사교리와 훈련전문가들의 평가내용이 담긴 사후검토자료를 연결시켜 훈련전문가의 의견과 판단을 선별하고, 선별된 내용을 이전 단계에서 진행했던 변수들과 매칭시켜서 표현하는 즉 변수화시키는 과정이다. 술적 분석을 위해서 훈련 동안 치러진 전투결과에 대해 KCTC단 훈련전문가의 의견과 판단이 담긴 사후검토 자료를 확인하고 이를 <표 5>와 같이 군사교리 내용으로 재해석하는 방법이 가능하다. <표 5>의 경우는 대대 공격작전과 관련된 사항을 정리한 내용이다. 좀 더 구체적으로 설명하면 사후검토자료에서 강조된 내용의 빈도수를 척도로 이를 오름차순으로 정렬하고, 군사교리 내용은 공격작전의 가장 기본 고려사항인 공격작전의 목적과 준칙이다. 사후검토자료 분석결과 공격작전의 전투 승패결과를 나타내는 요소는 총 8가지로 분석되었다. 주요 내용은 ① 중요지역 확보, ② 전투력 집중, ③ 공격기세 유지, ④ 적의 강·약점 식별, ⑤ 적 기만 및 전환, ⑥ 적 부대 격멸, ⑦ 적 고착 및 교란, ⑧ 적 방어체계의 균형 와해이다. 이 중 ①, ⑤, ⑥, ⑦은 공격작전의 목적을 ②, ③, ④, ⑧은 공격작전 준칙을 나타낸다. 분석된 요소 중 가장 언급이 많았던 상위 3가지 요소를 공격작전의 전투 승패결과를 표현할 수 있는 중요한 요소로 판단하였다. 이러한 요소를 데이터로 표현하기 위해 <표 6>과 같이 해당 요소를 나타낼 수 있는 변수와 연결시킨다. 본 사례에서는 해당 요소를 나타내는 변수들은 연관성이 높은 순서부터 낮은 순서로 직사화기전과, 곡사화기전과, 목표도달거리, 적후퇴거리, 최종전투력 총 5가지였다.

<표 5> 사후검토자료에 중 공격작전의 전투 승패결과를 나타내는 요소

순서	공격작전의 전투 승패결과를 나타내는 요소	군사교리
①	중요지역 확보	공격작전 목적
②	전투력 집중	공격작전 준칙
③	공격기세 유지	공격작전 준칙
④	적의 강·약점 식별	공격작전 준칙
⑤	적 기만 및 전환	공격작전 목적
⑥	적 부대 격멸	공격작전 목적
⑦	적 고착 및 교란	공격작전 목적
⑧	적 방어체계의 균형 와해	공격작전 준칙

〈표 6〉 공격작전의 전투 승패결과를 나타내는 요소에 부합하는 변수

공격작전 전투 승패결과를 나타내는 요소	공격작전 전투 승패결과를 나타내는 변수
중요지역 확보	① 직사화기 전과
전투력 집중	② 곡사화기 전과
공격기세유지	③ 목표 도달거리
	④ 적 후퇴거리
	⑤ 최종전투력

다음으로 정량적(과학적) 분석에서는 전투승패결과를 나타내는 변수가 여러 개 이므로 이 변수들간의 공통적 요인을 찾는 과정이 필요하다. 과학적분석에서는 전투승패결과가 결국에는 결과(반응)변수가 되고, 다양한 전투상황과 결과와 관련이 있는 변수가 원인(설명)변수가 되어서 반응변수와 원인변수들 간에 어떤 관계가 있는 지를 분석해야 한다. 공통요인을 찾는 과정은 인자분석(Factor Analysis)으로 진행하는 것이 좋은 방법이다. 앞의 공격작전의 예를 이용하여 중요변수들에 대해서 인자분석을 한 결과가 〈표 7〉이다. 고유값의 누적 점유율이 79.9%로 약 80%의 누적 점유율을 가지는 인자는 세 개였다. 세 개의 인자와 관련된 전투결과 변수들을 살펴보면, 인자 1은 목표 도달거리와 적 후퇴거리는 목표 확보와 관련된 변수로 “중요지역확보”라고 명명하고, 인자 2는 직사화기전과와 곡사화기전과의 전투 승리 반응변수로 “편제화기전과”라 명명할 수 있겠다.

〈표 7〉 인자분석 결과 (Philip, 2011)

변수	인자부하 1	인자부하 2	인자부하 3	공통성
① 직사화기 전과	-0.276	0.836	0.233	0.830
② 곡사화기 전과	0.356	0.782	-0.165	0.766
③ 목표 도달거리	0.626	0.262	0.498	0.709
④ 적 후퇴거리	0.919	-0.078	-0.057	0.854
⑤ 최종전투력	0.001	-0.006	0.917	0.841

다음으로 회귀분석을 통한 함의도출 과정은 본 사례에서는 공격작전과 관련된 설명변수들 중에서 전투 승패결과에 영향을 미치는 전투승리요인이 무엇인지 밝히기 위해 과정이라고 볼 수 있다. 회귀분석간 결과(반응)변수는 “편제화기전과”, “중요지역확보” 두 가지였으며, 각각의 결과변수별로 최초에 정리한 변수를 설명변수로 하여 회귀분석을 진행한다. 회귀분석에 포함되어 최종적인 모델로 구축된 설명변수들이 전투승패에 영향을 미치는 “전투 승리요인”이라 볼 수 있다. 앞의 사례를 이용하여 회귀분석한 결과는 〈표 8〉과 같다. 회귀모형은 약 79%의 설명력을 갖고 있고, 유의확률이 0.05이하로 통계적으로 유의한 모형이다.

편제화기전과에 영향을 미치는 요인으로는 “직사화기사격량”, “곡사화기사격량”, “전투기량 등급”, “대대장생존율” 네 가지였다. 요인들 모두 양의 부호를 갖는데, 직사 및 곡사화기사격량이 많을수록, 전투기량등급이 높을수록, 대대장이 오래 생존할수록 편제화기전과가 높았다. 특히 전투기량등급에 따른 편제화기전과의 변화를 살펴보면 직사화기사격량, 곡사화기사격량, 대대장생존율이 동일하다는 조건하에서 전투기량등급, 즉 전투원의 각개전투 및 주특기평가의 합격률이 10%로 높아지면 편제화기전과가 약 4명 증가한다. 이는 개인의 전투기량이 높을수록 편제화기를 더욱 효과적으로 사용한다고 할 수 있다. 또한 대대장생존율도 동일한 원리로 대대장생존율이 10% 길어지면 편제화기전과가 약 5명 증가하였다.

〈표 8〉 회귀분석 결과(편제화기 전과)(Faraway, 2015)

설명변수	Estimate	Standard error	t-statistic	p-value
(Intercept)	-80.3501	33.1646	-2.4228	0.0230*
직사화기 사격량	0.0122	0.0025	4.8996	4.83e-05***
곡사화기 사격량	0.0558	0.0104	5.3697	1.44e-05***
전투기량 등급	43.9612	20.3752	2.1576	0.0408*
대대장 생존율	50.9937	26.2126	1.9454	0.0631

F(4, 25)=28.13, p-value= 6.235e-09***, Adjusted R-squared : 0.7891

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

본 연구는 전투승리요인 분석에서 술적인 분석과 정량적(과학적) 분석을 어떻게 결합시켜서 분석할 수 있는 지에 대한 방법론을 제시하는 사례이다.

2. 여단 훈련결과 진단 및 평가 방법론

KCTC훈련결과 여단의 훈련수준을 진단 및 평가해주는 객관적인 방법론에 대한 것이다. 현재 여단의 훈련수준은 KCTC단 사후검토관들에 의해서 평가되고 있는데, 이러한 부분도 중요하지만 여단의 전반적인 훈련수준을 객관적인 데이터에 근거하여 진단하고 평가하여 개선 보완점을 도출해줄 수 있는 진단도구를 개발하는 것이 중요하다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

〈표 9〉는 미군이 여단을 평가하는 결과에 대한 최종 판정 기준 사례이다. T1 수준에 도달한 여단은 전쟁에 투입되는데는 10일 이하가 소요된다고 평가된 것이고, T4 등급으로 평가

되었다면 이것은 전쟁에 투입하기 위해서는 90일 이상의 훈련이 필요하다고 하는, 여단장에게는 아주 수치스러운 결과가 될 것이다.

〈표 9〉 미군의 여단 평가 결과 지표

T 등급	임무필수과업 숙달도	개인 / 팀 주특기 수준	실사격훈련 숙달도	T1 도달을 위한 훈련소요 일수
T1	모든 필수과업에서 ≥ T-	≥ 90%	≥ 85%	적재까지 10일 이하
T2	대부분의 필수과업에서 ≥ T- (U가 없음)	80~89%	70~84%	≤ 35일
T3	모든 필수과업에서 ≥ P	70~79%	55%~69%	≤ 90일
T4		< 70%	< 55%	> 90일

* 임무필수과업 숙달도는 T(fully trained), T-(trained), P(practiced), P-(marginally practiced), U(untrained)로 구분

〈표 9〉에서 눈여겨 볼만한 것은 각 평가지표에 대한 부분도 있지만, 전쟁에 나갈 수 있는 수준이 어떤 수준인지에 대한 기준이 있다는 것이다. 미군의 경우는 지금도 세계 각지에서 전쟁을 수행하고 있기에 가능한 것이겠지만 이러한 명확한 기준이 있기에 이 기준을 기초로 훈련부대의 상대적 수준을 평가할 수 있게 되는 것이다. 〈표 9〉의 평가를 위한 각각의 세부 항목들에 대한 평가지표 즉 진단도구가 잘 만들어져 있을 것이다.

우리나라 KCTC훈련도 이와 같은 미군 사례를 벤치마킹해서 KCTC훈련을 통해서 여단을 객관적으로 진단하고, 전쟁에 투입되게 하기 위해서는 어느 정도의 훈련이 추가로 필요한지를 제시해 줄 수 있다면 육군의 전투력증강에 크게 발전이 있을 것이다.

(2) 연구해야 할 항목들

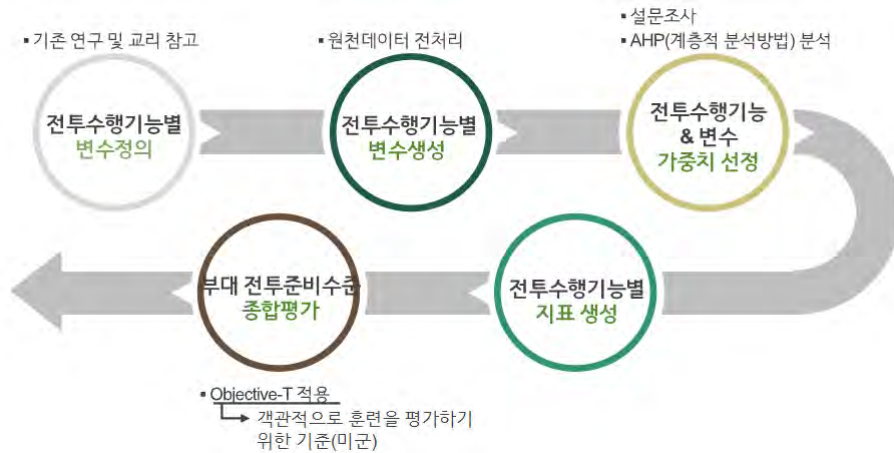
- ① 여단 훈련수준을 평가하는 진단도구를 만드는 것과 관련해서 가장 중요한 것 중의 하나는 비교 기준을 정하는 것이다. 미군의 경우는 전투에 나갈 수준을 각 종 전투결과를 기초로 정하였다. 한국군의 경우는 전투 경험이 없기 때문에 이 기준을 동일하게 적용할 수 없고, 미군의 기준을 적용하기에는 미군에서 제공해주지 않는다. 따라서 전투에 나갈 수준을 정하는 것이 무엇보다 중요한 것이다.
- ② 다음으로 전투에 나갈 기준과의 상대비교를 하기 위한 진단도구가 만들어져야 한다. 이 진단도구를 통해서 부대를 진단하고 개선해야 할 부분을 제시해주어야 하기 때문에, 전투수행기능을 중심으로 진단도구를 만드는 것도 좋은 방안이다.

(3) 구체화된 방법론

- ① KCTC단에서 운영하고 있는 전문대항군을 전투에 바로 나갈 수 있는 기준으로 정함
 - KCTC단은 전문대항군을 최정예로 훈련시켜 운영하고 있는 상황을 고려해서 전문대항군의 수준이 전투에 바로 투입될 수 있는 수준으로 가정하고, 훈련부대를 전문대항군과 비교를 통해서 상대적으로 훈련부대를 평가하는 방법임
 - 이를 위해서 KCTC단에서는 전문대항군이 항시 전투에 나갈 수 있는 상태로 훈련시키고 있다는 가정이 필요하고, 이러한 기준을 적용한다면 KCTC단에서도 더욱 전문대항군의 수준을 최고로 유지시키기 위한 동기도 될 것임
 - 전문대항군의 전투준비수준이 전투에 나갈 수 있는 기준이 됨
 - ※ 훈련부대를 기존에 훈련에 참가했던 훈련부대들과 상대비교를 한다고 하면 훈련부대별로 훈련상황과 기상 등이 달라서 객관적인 기준이 될 수는 없을 것임. 전문대항군과 비교를 한다면 훈련부대는 전문대항군과 항상 동일한 훈련상황과 기상에 훈련을 하였기에 훈련부대를 객관적으로 진단할 수 있게 되는 것임

- ② 다음으로는 전투준비수준을 어떻게 측정하느냐는 것으로 전투에 필요한 기능을 말하는 전투수행기능을 중심으로 전투준비수준을 진단함
 - 전투수행기능을 중심으로 진단도구를 만들고, 이 진단도구로 전문대항과 훈련부대를 진단하여 상대비교를 통해서 훈련부대의 전투준비수준을 진단하는 것임
 - 훈련부대와 전문대항군과의 상대비교가 많이 나는 전투수행기능은 훈련부대가 못하는 부분이고, 반대로 차이가 적게 날수록 훈련이 잘 되어 있는 부분으로 평가할 수 있고, 각 개별 전투수행기능에 대한 훈련부대의 전투준비수준을 객관적으로 진단해 줄 수 있게 됨
 - 부대의 전투준비수준 평가를 위한 진단도구 개발 절차는 <그림 4>와 같이 진행될 수 있음. 전투수행기능(기동, 화력, 방호, 정보, 지휘통제, 작전지속지원)별 KCTC훈련 결과 데이터로 정의하고 표현해서 변수화 하여야 하고, 각 전투수행기능이 실제 작전에 어느 정도 영향을 미치는 지를 KCTC단 훈련전문가의 의견을 설문조사를 통해서 수집하여 가중치를 반영한 전투수행기능 지표를 만들게 된다.
 - <그림 4>에서 AHP(계층적분석방법)은 전투수행기능이 KCTC훈련 환경 중에 모두 모의되어 반영되고 있지 않기에 중요도에 대한 차이가 발생하여 전투수행기능별 가중치를 판단하고자 하는 것임. 이를 위해서 KCTC훈련전문가들의 전문가 의견을 수렴하고 AHP분석을 통해서 전투수행기능의 가중치를 결정하는 것임

- 또한, <그림 4>에서 마지막 부분의 부대 전투준비수준 종합평가는 개별적으로 진단한 전투수행기능의 점수를 종합적으로 합쳐서 계산하기 위한 방법론에 대해서 말하고 있음



<그림 4> 여단 부대 전투준비수준 평가를 위한 진단도구 개발 과정

③ 전투수행기능별 지표 생성 예

- 예를 들어 전투수행기능 화력을 직사화기 전과로 판단하였다면 훈련부대의 방어 작전 간에 훈련부대별 직사화기 전과를 정리하고, 이에 대응하여 대항군 공격 시의 전과를 정리함. 정리된 두 직사화기 전과를 비교하여 차이값을 계산하게 되고, 이 차이값이 적을수록 훈련부대가 잘하는 부대임

부대 훈련순서	훈련부대 방어(전과)	부대 훈련순서	대항군 공격(전과)	훈련부대 및 대항군 차이값(전과)
1번	182	1번	267	-85
2번	221	2번	342	-121
3번	201	3번	282	-81
4번	220	4번	358	-138
5번	423	5번	530	-107
6번	420	6번	732	-312
7번	575	7번	658	-83
8번	458	8번	633	-175
9번	512	9번	679	-167
10번	392	10번	704	-312

<그림 5> 전투수행기능별 지표 생성 예 1단계 (편제직사화기 전과 지표화 예)

- <그림 5>와 같이 훈련부대별 전문대항군과의 차이를 계산하였으면, 이 값을 그대로 사용할 수 없고 표준화와 백분위수로 변화를 하게 됨. 표준화는 자료를 평균이 0이고 분산이 1인 값들로 변경시켜서 단위에 영향을 받지 않게 하기 위한 것이고, 이것을 백분위수 값으로 변경하므로 1~100 사이 값으로 보기 좋게 바꾸는 것이 필요함. 이렇게 변경하는 과정과 변경된 값이 <그림 6>과 같음. 여기서 표준화는 표준화시키고 자 하는 값들의 평균과 표준편차를 구하고, 각 값들에서 평균을 빼 값을 표준편차로 나누어 주면 됨

표준화	백분위수
0.83	79.80
0.42	66.40
0.88	81.06
0.22	59.07
0.58	72.01
-1.75	3.94
0.85	80.43
-0.19	42.35
-0.10	45.95
-1.75	3.94

<그림 6> 전투수행기능별 지표 생성 예 2단계 (편제직사화기 전과 지표화 예)

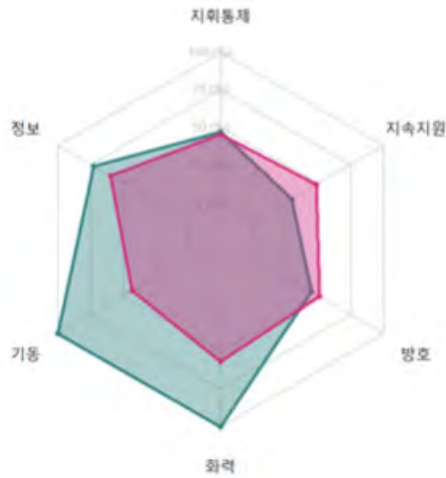
- <그림 5>와 <그림 6>은 화력의 전투수행기능 중 한 가지 사례를 보여준 것이고, 이와 같은 과정을 전투수행기능별로 수행한 후에 모든 값들을 하나로 합쳐서 훈련부대의 전투준비수준을 종합적으로 평가하는 것은 <그림 7>과 같이 하게 됨
- <그림 7>에서 백분위수는 각 전투수행기능별 지표 종합값을 의미하고, 최중가중치는 KCTC단 훈련전문가들의 의견을 수렴해서 AHP를 통해서 구한 각 전투수행기능별 가중치를 의미함. 각 전투수행기능별 가중치가 KCTC훈련의 특징에 따라서 일정하지 않고 다르게 반영되게 됨. 예를 들어 작전지속지원(지속) 같은 경우는 많은 경우가 실제 전장을 그대로 모의하지 않고, 축약해서 표현되어 있기에 다른 전투수행기능에 비해서 상대적으로 훈련부대를 평가하는데 중요도가 떨어지는 전투수행기능이 될 수 있음

전투수행기능지표							
부대	지휘	정보	기동	화력	방호	지속	총점
1번	12	13	3	7	3	4	42
2번	20	22	7	12	3	3	67
...

백분위수 \times 최종가중치
 $= 79.8 \times 0.0328$
 $= 2.62$

〈그림 7〉 각 전투수행기능을 합쳐서 종합지표를 만드는 과정

- 이렇게 평가된 훈련부대의 전투준비수준은 〈그림 8〉과 같이 한 눈에 시각적으로 보기 좋도록 표현할 수 있게 됨. 〈그림 8〉에서와 같이 각 전투수행기능별 전투준비수준을 상대적으로 비교가 가능하도록 전문대항군의 전투수행기능 또는 잘하는 부대의 전투수행기능과 비교해서 보여 줄 수 있게 됨



〈그림 8〉 전투수행기능 평가결과의 시각적 표현

3. ATCIS를 이용한 전투지휘와 KCTC훈련결과 데이터 융합 분석

KCTC훈련결과 데이터는 현재 전투결과만을 표현한 데이터이다. 훈련부대의 훈련수준을 평가하는데 있어서 중요하게 여겨야 할 부분은 전투지휘데이터이다. 전투지휘를 어떻게 하는 것이 전투에서 효과가 있는지를 알기 위해서는 전투지휘데이터와 전투결과 데이터의 융합이 필요하다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

KCTC훈련에 참가한 부대는 훈련 간에 ATCIS를 이용해서 의사소통을 하면 훈련을 진행한다. 훈련부대는 KCTC훈련결과 데이터에 대한 부분은 전혀 모른채 훈련을 진행하게 된다. 현재 KCTC훈련결과에 대한 분석은 KCTC훈련결과 빅데이터를 통해서 이루어지고 있는데, 이 데이터는 전투결과 데이터이다. 훈련부대가 실시간 전투지휘를 어떻게 하였는지에 대한 내용은 이 데이터에 담겨있지 않다. 전투지휘를 어떻게 하느냐에 따라 전투결과가 달라질 것인데, 훈련부대의 훈련수준을 제대로 평가하기 위해서는 전투지휘 데이터와 전투결과 데이터의 융합을 통한 분석이 꼭 필요하다.

(2) 연구해야 할 항목들

- ① 전투지휘와 전투결과를 융합하여 분석하기 위해서 무엇보다 필요한 것은 전투지휘 데이터가 축적되어야 한다. 전투지휘 정보는 모두 ATCIS에 있는데 이것에 대한 정보가 KCTC단에 축적되도록 해야 한다.
- ② 다음으로 전투지휘 정보도 전투수행기능별로 구분되어 ATCIS상에 저장되어 있을 것인데, 이 정보들 가운데 훈련부대 수준 진단을 위해서 필요한 내용들을 변수화하는 과정이 필요하다. ATCIS에 쌓여있는 데이터를 의미있는 형태로 변환시켜주는 과정이다.
- ③ 다음으로 변수화된 전투지휘 정보와 전투결과 정보를 융합시키는 방법이 필요하다.

(3) 구체화된 방법론

- ① KCTC훈련에 참가한 부대가 훈련간 사용한 ATCIS 정보를 KCTC단에 남기고 축적하기 위해서는 시스템이 갖추어져야 한다.
 - KCTC단에 훈련용 ATCIS 독립망이 구축되어야 한다. 현재 훈련부대는 실 전투에서 사용할 각 부대의 ATCIS 장비를 갖고 훈련을 진행하는데, 이렇게 하면 ATCIS 보안상 훈련간 사용했던 전투지휘 정보를 KCTC단에 축적할 수 없게 된다.
 - KCTC단에 별도의 훈련용 ATCIS 독립망과 훈련에 사용할 개인과 장비의 ATCIS 장비가 갖추어져야 한다, 이 부분은 긴급성이 요구되는 사항으로 현재 독립망이 갖추어져 있지 않기 때문에 전투지휘 데이터가 축적이 안 되고 있는데, 이런 환경이 갖추어지는 것이 늦어지면 질수록 그 만큼 중요한 정보를 축적할 수 없게 되는 것이다.
- ② ATCIS상에 저장되어 있는 전투지휘관련 데이터도 필요한 형태로 만들어(변수화)서 축적하지 않으면 의미가 없고, 의미 있는 정보로 축적하여야 한다.

- 이 부분은 KCTC훈련결과 데이터와 동일한 의미로, KCTC 서버에 훈련결과 데이터가 축적되어 있지만, 그냥 쌓아놓기만 하면 그것은 심하게 말하면 쓰레기 더미만 있는 형태이다. 이렇게 쌓여져 있는 데이터에 의미를 부여하고 쓸모있는 정보로 만드는 과정이 변수화 과정이다.
 - ATCIS 정보의 경우도 동일한 원리이다. ATCIS 정보를 그냥 축적한다고 그것이 의미있는 전투지휘 정보가 되는 것이 아니다. 전투지휘 정보를 이용해서 무엇을 분석하고자 하는 내용과 목적이 분명하게 정해져야 한다. 후에 목적에 맞게 전투지휘 정보를 변수화 시키는 것이다. 이러한 다음으로 전투지휘 정보도 전투수행기능별로 구분되어 ATCIS상에 저장되어 있을 것인데, 이 정보들 가운데 훈련부대 수준 진단을 위해서 필요한 내용들을 변수화하는 과정이 필요하다. ATCIS에 쌓여있는 데이터를 의미 있는 형태로 변환시켜주는 과정이다. 여기 의미를 부여하는 과정에서 전투수행기능 중심으로 의미를 부여하는 것도 좋은 방안이다. 왜냐하면 KCTC훈련결과 데이터인 전투결과 데이터도 전투수행기능을 중심으로 분류하였기 때문이다.
- ③ 다음으로 변수화된 전투지휘 정보와 전투결과 정보를 융합시키는 방법이 필요하다. 전투지휘가 전투결과에 어떻게 반영되어 전투결과가 전투지휘에 따라 어떻게 달라지는지를 분석할 수 있어야 한다.
- 전투지휘 정보는 원인으로 전투결과 정보는 결과로 활용될 것이다.
 - 전투지휘가 전투결과에 어떻게 반영되어 전투결과가 전투지휘에 따라 어떻게 달라지는지를 분석할 수 있어야 한다.

4. KCTC훈련의 지휘참모과정을 이용한 의사결정지원 AI 모델 개발

향후 미래에 중요하게 작용하게 될 KCTC훈련관련 내용으로, KCTC훈련에 참가하는 훈련부대가 ATCIS 정보를 이용한 지휘참모과정 간에 실시하는 의사결정 부분은 AI로 개발하는 분야로 결심조건표가 있는 의사결정항목에 먼저 적용해 볼 수 있는 분야이다. 특히 ATCIS의 정보와 KCTC훈련결과 정보가 융합되어 AI에 활용될 학습 데이터를 구축할 수 있는 시스템 환경이 뒷받침 되어야 한다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

사람이 의사결정 할 때 의사결정사항에 대해서 결심조건표를 활용하여 의사결정하는 과정을 정형화시키고, 정형화 과정을 모델링하여 의사결정지원모델을 구축하는 방안을 말한다. 이는 특히 KCTC훈련 환경에서 ATCIS 정보와 KCTC훈련결과 정보의 융합을 통해서

구축될 수 있다.

이 연구 분야는 사람을 대신해서 의사결정과 관련된 사항을 AI가 대신해 주는 역할을 하는 것으로 AI참모 모델이라고 명명해도 좋을 것이다(한창희 등 2020, 최근하 2020). 여단이 작전을 수행하는 과정 중에 의사결정을 하고 있는 사항을 AI가 대신해서 지원해주는 것으로 볼 수 있다. 이러한 연구를 위해서 중요한 부분은 무엇보다 사람이 하고 있는 의사결정 과정을 정형화시키는 것이 중요하다. 정형화된 의사결정 과정에 필요한 정보들을 이용해서 컴퓨터가 사람 대신 이런 역할을 하도록 만들어야 하는 것으로 볼 수 있다. AI 참모 모델을 만들기 위해서는 학습용 데이터가 필요한데 이것을 KCTC단 훈련에 참가한 훈련부대를 대상으로 구축할 수 있을 것이다.

(2) 연구해야 할 항목들

AI 참모 모델을 만들기 위해서 연구해야 할 항목들은 의사결정 정형화 과정에 대한 부분이 주를 이룬다.

- ① 교리를 통해 의사결정항목별 획득 가능한 결심조건표 정리
- ② 의사결정항목별 결심조건표의 조건을 독립(설명)변수로 정의함
 - * 결심조건표의 조건이 독립(설명)변수가 되고, 조건에 따른 의사결정 결과가 종속(반응)변수가 됨
- ③ 각 독립변수의 세부항목들 확인 및 관련된 데이터 정리
- ④ 각 독립변수의 세부항목들과 관련된 데이터 획득 방법 제시 및 자동화
- ⑤ 세부항목들로 각 독립변수의 상태(Green, Amber, Red)를 결정하는 기준 제시 및 상태 표현
- ⑥ 의사결정지원모델 구축을 위한 학습 데이터 생성 방안 제시 및 수집
- ⑦ 학습 데이터를 이용한 의사결정지원모델 구축

(3) 구체화된 방법론

구체화된 방법론은 여단이 역습을 할지 말지에 대한 의사결정을 결심조건표를 이용하는 과정의 예를 통해서 구체적인 방법론을 제시한다.

- ① 역습 의사결정과 관련된 결심조건표 항목들과 상태 예

〈표 10〉 미군의 여단 평가 결과 지표

구분	예비대의 전투력	저지부대의 전투력	적 화력지원수단의 전투력	기동로 확보여부
상태 예	Green	Green	Amber	Amber

- 여단의 지휘관과 참모들은 여단의 역습 여부를 위와 같은 결심조건표의 항목들을 이용해서 결심한다. 이 때 각 항목들의 상태도 각 항목들과 관련된 정보를 이용해서 판단하고, 판단한 각 항목들의 상태와 여러 경험요소들을 고려해서 역습 의사결정을 하게 된다.
- ② 결심조건표의 조건들인 ‘예비대의 전투력’, ‘저지부대의 전투력’, ‘적 화력지원수단의 전투력’, ‘기동로 확보여부’ 4개가 독립(설명)변수가 됨.
- 조건에 따른 의사결정 결과인 ‘역습 가능’ 또는 ‘역습 불가능’이 종속(반응)변수가 되는데, 이 종속변수는 사람이 결정하는 것을 수집하여야 하는데 이것이 AI 학습용 데이터를 수집하는 과정이 된다.
- ③ 각 독립변수들(예비대의 전투력을 포함한 4가지)의 세부항목들 확인 및 데이터 정리
- 각 독립변수의 상태를 결정하기 위해서 필요한 세부항목들이 있는데 이러한 항목들을 조사하고 데이터로 정리하여야 한다.
 - ‘예비대의 전투력’을 알기 위해서는 전투력의 정의와 관련된 즉 예비대의 병력 및 장비, 탄의 상태 등의 세부항목들이 어떤 것이 있는 지를 정리해야 한다.
- ④ 각 독립변수의 세부항목들과 관련된 데이터 획득 방법 제시 및 자동화
- 각 독립변수의 세부항목들과 관련된 데이터를 ATCIS의 어디에서 획득할 수 있는지 확인해야 한다.
 - 세부항목들과 관련된 데이터가 사람의 수작업이 아닌 컴퓨터가 자동으로 수집되어 정리될 수 있도록 자동화가 되어야 한다.
- ※ 이 때 주의해야 할 점은 세부항목들과 관련된 정보가 언제 최신화 되었는지 확인하고, 현재의 정보가 최신화가 된 지가 오래되었다면, 현재 갖고 있는 정보로 세부항목들과 관련된 정보를 업데이트 해주는 추정 알고리즘을 만들어야 한다.
- 이와 관련된 예로 ‘예비대의 전투력’을 알기 위해서는 예비대의 편제와 예비대의 현재 병력, 장비, 탄약 등의 상태를 확인 한 후에 전투력 정의에 따라 현재 예비대의 전투력을 계산함. 만약, 사용할 정보들의 최신화된 상태가 오래 되었다면 현재의 전투력을 추정할 수 있도록 과거의 자료들(예비대의 전투력 수준 평가 결과들)을 이용해서 현재의 전투력 수준을 추정할 수 있어야 한다. 이를 위해서 각 부대의 전투력 관련 정보들은 갱신될 때마다 그 정보를 DB에 저장할 수 있도록 ATCIS에 기능이 갖추어져 있어야 한다.

⑤ 각 독립변수의 세부항목들로 각 독립변수의 상태(Green, Amber, Red) 기준 제시 및 상태 표현

- 각 독립변수의 세부항목들을 이용해서 먼저 각 독립변수의 상태를 평가할 수 있는 계량화된 계산식이나 또는 계량화 방법 제시가 필요하다.

* 예비대의 전투력을 계산하기 위해서는 전투력 계산식이 필요함. 이 계산식에 대해서 제시해 주어야 하고, 다른 독립변수들에 대해서도 이러한 계량화 방법이 필요하다.

- 각 독립변수의 세부항목들을 이용하여 각 독립변수의 상태를 결정하는 기준을 제시하여야 한다.

→ 예를 들어 ‘예비대의 전투력’을 세부항목들을 이용하여 계산해 보니 00%가 나왔다면, 과연 몇 % 이상이면 ‘Green’이고, 몇 % 이하면 ‘Red’인지 등에 대한 기준 제시 필요하다. 예를 들어서 <표 11>과 같이 육군전투지휘훈련단²⁾의 경우 “전투력이 75% 이상이면 공격 가능하다” 등의 조건들을 활용하는데, 이러한 것들을 참고해서 나름의 기준을 만들 필요가 있다.

<표 11> 육군전투지휘훈련단에서 활용하는 전투력 수준과 작전형태 기준

육군전투지휘훈련단에서의 작전형태별 전투력 수준 판단	예비대의 전투력 상태	
	기준 예1	기준 예2
<ul style="list-style-type: none"> • 75% 이상 : 공격 가능 • 45% 이상 : 방어 가능 • 30% 이하 : 철수 	<ul style="list-style-type: none"> • 75% 이상 : GREEN • 45 ~ 74% : Amber • 45% 이하 : Red 	<ul style="list-style-type: none"> • 85% 이상 : GREEN • 60 ~ 84% : Amber • 60% 이하 : Red

- 각 독립변수의 상태 평가를 위한 기준으로 각 독립변수의 상태를 표현하여 여단장과 일반 참모들이 바로 볼 수 있도록 ATCIS상에 표현해 주어야 한다.

⑥ AI 학습용 데이터 수집

- 컴퓨터가 사람을 대신해서 역할을 수행하자면 학습이 필요하고, 학습을 위해서는 학습용 데이터 수집이 필요하다.
- 역습의 예의 경우에 각 독립변수들의 상태를 보고 역습 유무를 사람이 결정하게 되는데, 각 독립변수들의 상태에 따라 사람이 “역습 실행” 또는 “역습 미실행”을 결정한 데이터들이 많이 수집되어야 한다.

2) 육군 군단 및 사단의 전투지휘훈련은 컴퓨터 워게임 모델을 활용하여 전투지휘에 대한 지휘관 및 참모를 훈련시키는 것으로 이것을 전문적으로 하는 부대가 육군전투지휘훈련단이다.

* 여기서 “역습 실행” 또는 “역습 미실행”의 역습 유무에 대한 사람이 결정한 정보가 종속(반응)변수가 되는 것이다. AI 학습용 데이터는 각 독립변수의 상태에 따라 사람이 어떻게 결정하였는지에 대한 종속변수를 정리한 데이터이다.

- 여기서 AI 학습용 데이터를 구축하는 방법으로는 크게 아래와 같은 두 가지가 있을 수 있다.

첫째, 여단급 전투지휘훈련을 하는 부대를 데이터 수집자들이 방문하여 각 종 의사 결정 사항에 대해서 결심조건표를 이용하여 결심하는 과정을 관찰하여 학습용 데이터를 수집하는 방법이다.

둘째, KCTC훈련장에서 KCTC 훈련에 데이터 수집자들이 참관하여 여단 CCC에서 의사결정하는 과정을 관찰하여 학습용 데이터를 수집하는 방법이다.

→ 두 가지 방법 가운데 당연히 두 번째 방법이 실제적인 방법이다.

- 예를 들어, 역습에 관한 학습용 데이터를 수집하여 아래와 같이 구축할 수 있다.

* 역습과 관련된 실험을 11번 하였다면 <표 12>와 같은 테이블이 만들어지고 이것이 학습용 데이터가 되는 것이다.

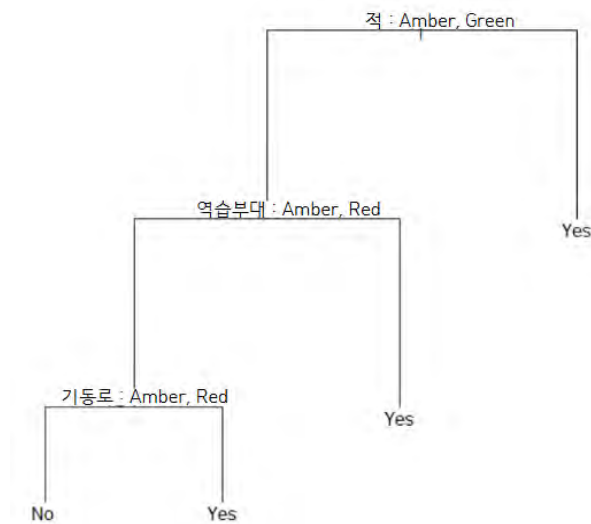
<표 12> 역습관련 AI 학습용 데이터 구축 예

구분	독립변수				종속변수
	예비대	지지부대	적	기동로	역습실행여부
1	Green	Green	Green	Green	Yes
2	Green	Green	Green	Amber	Yes
3	Green	Green	Green	Red	No
4	Green	Green	Amber	Green	No
5	Green	Green	Amber	Amber	No
6	Green	Green	Amber	Red	Yes
7	Green	Green	Red	Green	No
8	Green	Green	Red	Amber	No
9	Green	Green	Red	Red	Yes
10	Green	Amber	Green	Green	No
11	Green	Amber	Green	Amber	Yes

* 위의 표에서 한 줄은 한 번의 실험을 통해서 획득한 데이터이다. 1행의 경우 독립변수 4개의 상태가 표와 같았을 때에 CCC(의사결정자)가 역습을 실행한 경우를 나타낸다.

⑦ 학습 데이터를 이용한 의사결정지원모델 구축

- ⑥에서 구축된 학습용 데이터를 이용해서 학습을 통해서 의사결정지원모델을 구축한다.
 - * 여기서 학습시킨다고 하는 것은 위의 표에서 각 독립변수들의 상태가 입력이 되고, 종속변수 즉 “역습실행여부”가 출력이 되어서, 이런 입력에는 이런 출력이 나온다고 컴퓨터에게 가르쳐 주는 과정이다.
- 예를 들어서 위의 표의 학습용 데이터를 이용해서 기계학습 모형인 “의사결정나무”로 모델을 구현한 것이 <그림 9>와 같다(문호석, 2018).



<그림 9> 역습관련 의사결정지원 모델 사례

- 모델 해석
 - 규칙 1. 모델의 맨 위쪽부터 해석하는데, 먼저 적의 상태가 Red이면 나무의 오른쪽으로 이동해서 “역습실행”하라는 의사결정 규칙임
 - 규칙 2. 적의 상태가 “Amber” 또는 “Green”이고, 역습부대의 상태가 “Green”이면 이 때도 “역습실행”하라는 의사결정 규칙임
 - 규칙 3. 적의 상태가 “Amber” 또는 “Green”이고, 역습부대의 상태가 “Amber” 또는 “Red”일 때, 기동로가 “Green”이면 “역습실행”하라는 의사결정규칙임
 - 규칙 4. 적의 상태가 “Amber” 또는 “Green”이고, 역습부대의 상태가 “Amber” 또는 “Red”일 때, 기동로가 “Amber” 또는 “Red”이면 “역습실행 하지 말라”는 의사결정규칙임

- 위와 같이 모델이 만들어졌다면, 이 모델을 ATCIS에 반영해서 새로운 독립변수들의 값이 주어질 때에 모델은 역습실행유무를 결정해서 참모 건의를 하게 되는 것이다.
 - * 이 모델의 경우는 정확도가 77%정도인데, 모델결과와 함께 정확도도 제공해주어서 CCC 멤버들이 최종 결정을 하게 하는 것이다. 사람은 정확도에 따라서 AI 참모의 결과를 활용할 지를 말지를 결정해야 한다. 정확도를 높으려면 양질의 학습용 데이터가 많이 필요하다.

5. 전투결과 데이터 구축/분석 및 필수 데이터 축적 방안

전투경과(중요한 사건 전후, 시간단위 등)에 따라 훈련부대와 대항군의 제대별 또는 플랫폼(직사화기 및 곡사화기 종류별) 단위 전투결과(사격, 전과 등)에 대한 데이터를 구축하고 분석하는 방안이 필요하다. 또한, KCTC훈련결과 분석을 위해서 전투 진행 과정상에 데이터 축적이 필요한 데이터를 정의하고, MILES 또는 관찰통제관 기록 및 기타 방법으로 축적 방안을 제시한다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

앞의 진단도구 개발은 전투에서 중요한 요소들을 의미 있는 데이터로 변수화하는 과정으로 전투과정 상의 데이터와 전투결과에 대한 데이터로 표현되는 것이다. 여기에 추가해서 전투결과에 대해서 전투경과에 따라서 어떤 전투결과가 있었는지에 대해서도 상세하게 데이터로 정리하고 축적해 가야 한다.

2018년부터 여단급 KCTC훈련체계가 훈련을 시작하였으나, 훈련결과와 분석을 위해서 축적이 필요한 데이터가 많이 있으나, 現 KCTC 시스템 상에서 축적이 제한되고 있다. 특히 전투 진행 과정상에 축적되지 않은 데이터가 어떤 것이 있는 지를 연구하고 축적할 수 있는 방안 제시가 필요하다. 전투지휘와 관련된 데이터는 무선교신내용 또는 ATCIS의 전투지휘 데이터가 요구된다. 이를 어떻게 어떤 정보들을 축적해야 하는 지에 대한 연구가 필요하다.

(2) 연구해야 할 항목들

[전투결과 데이터 축적 및 분석 분야]

- ① 전투경과에 따른 훈련부대와 대항군의 제대별 또는 개인별 전투결과
 - * 여단, 대대, 중대, 개인의 전투결과
- ② 전투경과에 따른 훈련부대 및 대항군의 직사화기와 곡사화기 전투결과
 - * 플랫폼 단위 전투결과 (개인화기, 공용화기, 전차 등)

- ③ 개인 또는 제대(여단, 대대, 중대, 포대 등)의 전투결과(최종전투력, 전과, 기타 반응변수로 사용할 수 있는 전투승패와 관련된 내용)와 설명변수들(체력, 사격결과, 직사화기 사격량, 곡사화기사격량, 상급부대 지원량, 장애물설치 수 등)과 모델링(회귀분석과 분류분석, 필요시 군집분석 등)
 - ④ 훈련부대와 대항군의 개인별 직책별 생존분석
 - ⑤ 피격시 자세 비교
 - ⑥ 훈련부대와 대항군 포병부대 전과 분석 또는 훈련과정과 전과의 관계 분석
 - * 장애물과 연계한 곡사화기 사격의 전과 확인 및 비교, 진지변화와 관련된 분석 등
 - ⑦ 훈련부대의 전투결과와 대항군의 전투결과 비교를 통해서 훈련부대의 훈련수준 분석
 - * 훈련부대의 수준이 어떤 지를 분석할 때에 절대적인 기준이 있으면 좋은데, 대항군의 전투결과를 절대적인 기준으로 가정하고 분석하는 방법
- KCTC훈련결과에 대한 진단도구 개발연구와 전투결과 데이터 구축 및 분석을 통해서 여단 훈련결과를 한 눈에 시각적으로 보여주기 위한 연구도 필요하다. 여단이 훈련을 마치게 되면 여단 훈련결과에 대한 종합적인 평가가 필요하다. 이러한 평가를 사후검토 시에 훈련부대에게 보여 줌으로 객관적인 평가에 대한 신뢰도를 높일 수도 있다. 여단 훈련 결과에 대한 종합지표와 전투수행기능별 지표 그리고 전투수행기능별 지표들의 세부 항목들에 대한 정의가 있어야 한다.
 - 종합지표는 전투수행기능별 지표를 결합해서 산출하게 될 터인데, 여기서 전투수행기능별 지표의 중요도도 동일하지는 않을 것이다. 전투수행기능별 지표의 중요도 가중치에 대한 연구도 필요하다.
 - 대항군의 훈련결과도 훈련부대의 지표와 유사한 형태로 지표로 만들어 분석할 필요가 있다. 대항군의 훈련결과 분석이 필요한 이유는 크게 두 가지이다. 첫째는 훈련부대의 수준을 평가할 때 절대 지표가 없는 현실인데, 대항군의 수준을 기준으로 삼아 훈련부대를 상대비교하게 되면 훈련부대 간의 수준을 상대적으로 비교할 수 있는 기준이 있게 될 것이다. 둘째는 대항군의 훈련수준이 어떤 지를 평가함으로써 대항군의 수준도 유지할 수 있게 되는 장점이 있을 것이다. 병사복무 기간이 단축된 상황에서 대항군의 수준을 일정하게 유지하는 것도 KCTC단 입장에서는 쉽지 않을 것이다. 대항군 훈련수준을 정량적으로 평가해 준다면 이를 활용해서 대항군의 훈련수준을 일정하게 유지하는데 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.
 - 개발된 진단도구를 활용해서 훈련부대의 전투결과를 나타내는 반응변수(전투승패결과 또는 전투결과)를 만들게 되고, 각종 훈련결과를 설명변수로 해서 다양한 분석(모델링, 탐색적자료분석 등)이 가능하게 될 것이다.

[필수 데이터 축적 방안]

- ① 관찰관 수기기록 데이터 신뢰도를 측정하고, 신뢰도 향상시키는 방안을 제시
- ② KCTC 훈련결과를 과학적으로 분석할 수 있도록 데이터 구축 및 분석 방법 연구
- ③ KCTC 훈련결과를 과학적으로 분석할 수 있도록 시스템 개선과 데이터 구축이 필요한 사항들 연구 및 변수 정의
- ④ 전투 진행과정과 절차를 분석할 수 있도록, 절차와 과정간에 꼭 필요한 정보들을 정리하고 데이터가 축적될 수 있도록 시스템 개선 방안 제시
- ⑤ 전투지휘를 어떻게 하고 있는지를 알아야 이에 따른 전투행위들을 비교해 볼 수 있는데, 전투지휘와 관련된 ATCIS 정보와 무선교신 내용을 축적하는 방안 및 분석하는 방안
 - * 전투지휘 정보는 음성 또는 텍스트 데이터인데, 음성을 텍스트로 변환하고 텍스트마이닝을 적용해서 분석하는 방법을 적용해야 함
- ⑥ 데이터 구축이 필요한 내용들
 - 화력분야 MILES 데이터 외에 자동구축이 필요한 사항들 확인
 - 제병협동요소의 운용이 데이터로 축적되도록 방안 강구
 - 포병 관측 데이터 구축
 - 수색정찰대의 활동사항이 축적되도록 통신망 운영시 송수신 태그 부착

6. 전장가시화를 이용한 훈련결과 분석 디지털 상황판 구축

훈련결과에 대한 분석을 데이터를 입력하면 자동으로 분석되도록 하는 프로그램을 구현하고, 훈련부대의 훈련결과를 진단 평가한 내용을 한 눈에 볼 수 있는 훈련결과 상황판을 Dash Board로 구축하여 사후검토에 활용하는 방안이다.

* Dash Board를 통해 종합적으로 여단의 훈련결과를 보여주는 부분과 각 전투수행기능별 세부 결과를 보여주는 부분, 기존에 훈련을 실시했던 여단들과의 상대비교도 반영 전시

(1) 연구 필요성과 연구 방법

Dash-Board를 사용할 대상자별로 즉 훈련결과를 보고 싶은 대상자(훈련부대, 훈련평가관, 야전부대 등)별로 요구사항에 맞는 Dash-Board 설계가 필요하다. 원천데이터로부터 훈련분석에 필요한 데이터(변수)를 자동으로 추출해내기 위한 데이터 구축 형태와 프로그램

이 필요하다. 이런 프로그램이 있어야 원천 데이터를 입력하면 보고 싶은 내용이 자동으로 시각적으로 또는 데이터로 표현될 수 있게 되고, 사용자는 이를 통해서 원하는 항목을 필요에 맞게 볼 수 있게 된다.

또한 이런 프로그램과 Dash-Board와 같은 상황판이 만들어져야 KCTC단 자체적으로도 지속적으로 데이터를 축적할 수 있게 된다.

여단 훈련결과를 한 눈에 시각적으로 보여주기 위해서 여단훈련 결과에 대한 종합지표와 전투수행기능별 지표 그리고 전투수행기능별 지표들의 세부 항목들에 대한 정의가 사전에 만들어져야 하고, 이러한 부분은 앞의 연구방법의 '1'과 '2'를 통해서 반영되어야 한다.

(2) 연구해야 할 항목들

① Dash-Board 사용자에게 따른 요구사항 도출

- Dash-Board에 보여 줄 내용을 설계하기 위해서 사용자별로 요구사항 정리
 - * 육군 총장을 포함한 부장이 사용할 Dash-Board와 KCTC에 참가하는 훈련부대에게 사후검토 시에 제공할 것들은 요구사항에 따라 차이가 존재
- 공격과 방어의 2개 시점의 사격량/전과/전투력/진지변환 등의 그래프 제공

② 데이터 구축 방법(의미있는 변수를 만드는 과정)과 툴 제공

- 원천데이터를 입력하면 훈련결과 분석에 필요한 데이터로 변환되는 프로그램

③ KCTC 훈련결과와 야전훈련결과를 동시에 비교해 볼 수 있도록 반영

④ 공격 및 방어 전투상황도 동영상

- 할 수만 있으면 잘한 부대와 비교가 가능하도록 동시에 또는 대항군의 공격과 비교를 하든지

⑤ 공격 및 방어 생존곡선 제시 : 전투상황도 동영상

- 할 수만 있으면 잘한 부대와 비교가 가능하도록

⑥ 교전 치열도 그래프를 보여줌

- 공격 및 방어 전투상황도와 연계해서 보여줌

⑦ 여단의 전투결과와 전투수행기능별 지표를 레이더 그림으로 제시

⑧ 플랫폼 단위 화력 운영 현황 제시

⑨ 직사화기와 곡사화기 각각에 대한 별도의 세부 분석결과를 그래프로 제시

⑩ 곡사화력 운영과 관련된 사항

- 곡사화력(박격포, 포병부대) 부대별 현황 제시
- 공격과 방어의 2개 시점의 사격량/전과/전투력/진지변환 등의 그래프 제공
- 곡사화력 절차(관측, 요청, 사격, 결과)와 관련된 부대 수준을 데이터로 보여줌

7. 장기적인 빅데이터 구축 방향 연구

KCTC 훈련결과 빅데이터를 통해서 의미있는 훈련결과 분석과 AI를 적용할 수 있도록 장기적인 빅데이터 구축 및 분석 Road-map이 필요하고, AI 적용 방안 제시도 필요

(1) 연구 필요성과 연구 방법

관찰통제관 상황일지와 사후검토 발표자료에서 의미 있는 정보를 데이터화 하여 훈련결과 분석에 활용하는 것이 필요하다. KCTC 훈련결과를 의미있는 빅데이터로 구축하기 위한 장기적인 빅데이터 구축 방향 및 계획이 필요하다. 이 계획에는 데이터 구축 소요, 구축 방안 그리고 누가 구축할 것인지 등에 대해서 구체적으로 연구가 되어야 한다.

이런 빅데이터 구축을 기초로 해서 AI를 적용하기 위한 요구사항과 데이터 구축 방향도 연구가 병행해서 진행되어야 한다.

(2) 연구해야 할 항목들

- ① 관찰통제관이 수기로 기록하는 상황일지에서 중요한 정보를 추출
 - 관찰일지 스캔 및 스캔 파일에서 텍스트 추출, 텍스트마이닝 검토
 - 관찰일지에서 추출할 정보를 정의한 후 변수화하는 방안 검토
- ② 훈련평가 시 사용하는 사후검토 발표자료에서 추출 가능한 정보들을 정의하고 변수화 시킴
- ③ 빅데이터 구축 소요와 소요에 따른 활용 방안 연구
- ④ 구축 소요를 충족하기 위한 구축 방안 그리고 구축 주체에 대한 연구
 - 구축주체는 KCTC단 자체 담당인원, DM, 외부용역 등으로 구분하여 계획 필요
- ⑤ KCTC 훈련결과 빅데이터를 활용하여 AI를 적용할 소요와 구현방안 연구
- ⑥ AI를 적용하기 위한 데이터(영상, 음성, 수치데이터 등) 구축과 라벨링
- ⑦ 대항군의 전투수행 패턴을 분석하여 자율기동 대항군을 만드는 방안 연구
 - 향후 STE와 같은 위게임 모델에 자율기동 대항군을 반영하는 연구로 발전하기 위한 준비

8. KCTC훈련결과와 야전부대 훈련결과 연계성 분석

KCTC 훈련결과와 평시 야전부대 훈련결과의 연관성을 분석하여 야전부대 훈련에 의미 있는 피드백을 제공하여야 한다. 모든 부대가 KCTC훈련을 할 수 있는 상황이 아니기 때문에, KCTC훈련결과와 야전부대 훈련결과 분석을 통해서 야전에서 어떤 훈련이 전장에서 중요한 훈련인지를 분석하여 야전부대에 제공할 필요가 있다.

(1) 연구 필요성과 연구 방법

KCTC 훈련을 잘한 부대 또는 개인은 평시 야전에서 어떤 훈련을 잘했을까? 야전의 모든 부대와 개인이 KCTC 훈련을 자주 한다면 이보다 더 좋은 전투수행 능력을 향상시키는 방안이 없을 것이다. 그러나 KCTC 훈련장이 우리 군에 한 곳밖에 없기 때문에 이것은 현실적으로 불가능하다. 그러면 KCTC 훈련성도가 좋은 부대와 개인의 경우는 평시 야전에서 어떤 훈련을 잘했는지를 과학적으로 분석할 수 있다면, KCTC 훈련을 직접 하지 않더라도 평시 야전에서 어떤 훈련을 강조하고 훈련시키는 것이 중요한지를 간접적으로 알 수 있을 것이다.

이를 위해서 필요한 것들은 먼저 지금까지 구축한 KCTC훈련결과 분석 자료에 야전훈련 결과가 있어야 한다. 현재 야전에서 수행하고 있는 개인에 관한 야전훈련 결과는 사격, 체력, 전투기량, 화생방 등의 자료들로 개인에 관한 평가자료이다. 이러한 자료는 비교적 정량적으로 잘 구축되어 있다. 다만, 해당되는 인원이 예를 들어 병사가 전역을 하게 되면 데이터를 보관하고 있지 않는 문제점이 있다. 지속적인 연구와 분석을 위해서는 전역한 인원의 자료도 보존이 필요하다. 다음으로 야전에서 부대에 대한 훈련결과 평가자료이다. 이 부분을 정량화 시키는 것이 어려운 부분이다. 부대별로 평가기준과 방법이 다르고, 평가관도 다르기 때문에, KCTC단에서 훈련부대를 평가하는 것과 같은 일관성과 정량화가 되어 있지 않다.

(2) 연구해야 할 항목들

- ① 야전부대 훈련결과의 자료수집
 - 어느 정도 수준까지 수집할 수 있는 지를 판단해 보고, 부대별 상대적인 비교가 제한되는 측정내용들(전술훈련평가 내용 등)을 어떻게 처리할 것인지에 대한 방안 필요
- ② 야전부대 훈련결과 중 KCTC단에서 입력하는 자료들(체력, 사격, 전투기량, 응급처치 등)과 전투결과와 상관분석

(3) 구체화된 방법론

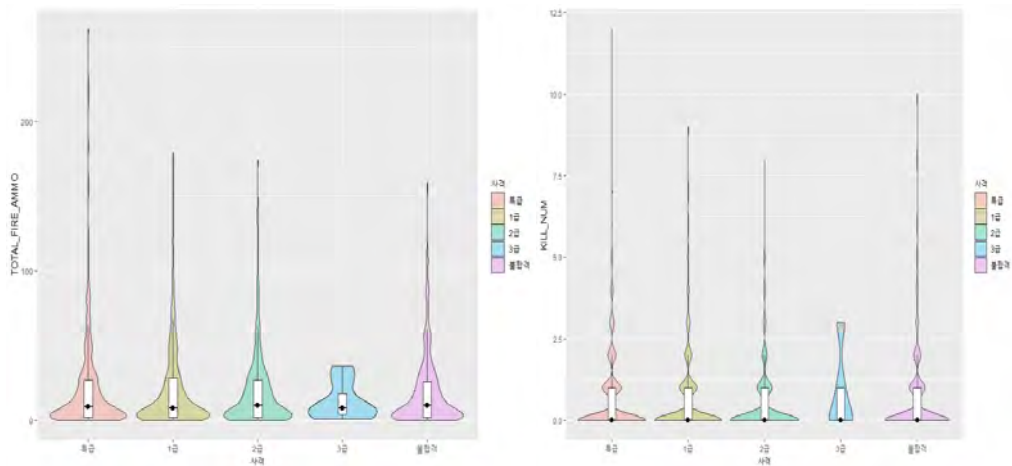
구체화된 방법론은 '18년도와 '19년도에 KCTC훈련을 했던 여단의 개인훈련결과와 KCTC훈련결과와의 상관 분석에 관한 내용이다.

개인훈련 결과에 대한 비교 분석은 먼저 KCTC 훈련에 참가했던 모든 보병중대, 수색중대, 정찰소대의 KCTC훈련 간 개인 전과와 야전훈련 시의 개인 사격등급 결과의 관계를 분석해 보았다. <표 13>은 사격등급별 전과가 있는 인원을 정리한 표이다. 분석대상 부대의 모든 전투원 4,424명중 1,230명만(28%) 전과가 있었다. 전과가 있는 전투원의 사격등급을 살펴보면 특등이 471명으로 전체 인원 대비 11%로 가장 많았고 1급, 2급, 기타 순으로 전과가 있었다.

사격등급별 사격량과 전과는 <그림 10>을 통해서도 볼 수 있는데, 그림에서 x축은 사격 등급을 나타내고, y축은 왼쪽 그림은 전체 사격량을 오른쪽 그림은 전과를 나타낸다. 그림에서 y축으로 길이가 길수록 사격량과 전과가 많은 것을 의미하는데, 특급이 타 등급보다 사격량도 많고 전과도 많음을 알 수 있다.

<표 13> 전과가 있는 전투원의 사격등급 비교

구 분	계	특등	1급	2급	기타
전과 유(%)	1,230(28%)	471(11%)	319(7%)	207(5%)	233(5%)
전과 무(%)	3,194(72%)	1,025(23%)	823(19%)	684(15%)	662(15%)



<그림 10> 사격등급별 사격량(좌)과 전과(우)

개인별 전과 유무에 따른 사격등급을 비교하기 위해 1급이상(특등, 1급)과 2급이하(2급, 3급, 불합격)로 개인을 구분한 것이 <표 14>와 같다. 통계적으로 차이가 있는 지를 확인하기 위해 카이제곱 검정하였고, 검정결과 p-value가 0.05 보다 작아서 1급 이상과 2급 이하는 통계적으로 전과에 차이가 있음을 확인하였다. 즉, 전투에서 전투원의 전과를 올리기 위해서 개인의 사격능력을 평시 야전에서 1급 이상으로 유지하는 것이 중요함을 알 수 있다.

<표 14> 전과 유무에 따른 사격등급 비교

구 분	1급 이상	2급 이하
전과 유(%)	790(11%)	440(10%)
전과 무(%)	1,848(42%)	1,364(30%)
카이제곱 검정결과	p-value<0.05	

IV. KCTC훈련결과 분석을 위한 Road-map

3장에서 제안했던 8가지 KCTC훈련결과 분석 방법론은 단 시간에 연구가 가능한 부분도 있지만 시일을 두고 지속적으로 추진해야 할 것들이다. 특히 KCTC단 자체적으로 해결할 부분도 있지만, 많은 부분은 상급부대에서 적극적으로 추진해야 할 분야가 대부분이다. 상급부대에서 적극적으로 추진해가고 그에 발맞추어서 KCTC단에서 지속적으로 추진해 나갈 때에 열매를 거둘 수 있는 부분들이다.

<표 15> KCTC훈련결과 분석을 위한 Road-map

분석 방법론	22년	23년	24년	25년	26년
1. 정량적 분석과 술적 분석의 통합을 통한 전투승리요인 분석					
2. 여단 훈련결과 진단 및 평가 방법론					
3. ATCIS를 이용한 전투지휘와 KCTC훈련결과 데이터 융합 분석					
4. KCTC훈련의 지휘참모과정을 이용한 의사결정지원 AI 모델 개발					
5. 전투결과 데이터 구축/분석 및 필수 데이터 축적 방안					
6. 전장가시화를 이용한 훈련결과 분석 디지털 상황판 구축					
7. 장기적인 데이터 구축 방안					
8. KCTC훈련결과와 야전 훈련결과 연관성 분석					

* 음영 : 연구용역을 통해서 중점 연구, 대각선 무늬 : KCTC단 중심으로 연구

〈표 15〉는 KCTC훈련결과 분석 방법론에 대한 연구자가 생각하는 Road-map이다. 표에서 보듯이 신속하게 추진하고 해야 하는 내용들이 있고, 어떤 방법론은 순서가 있는 것이 있고, 어떤 방법론은 장기적으로 꾸준히 추진해야 하는 것들이 있다. 연구 방법론 가운데 음영으로 표시된 것들은 연구 용역을 통해서 중점적으로 추진되어야 할 연구들이고, 대각선 사선 무늬가 있는 5번과 7번 연구 방법들은 KCTC단 자체적으로 추진할 수 있는 것들이다.

〈표 15〉에서 가장 우선적으로 연구가 되어야 하는 것들은 1번, 2번, 6번 연구들이다. 22년부터 시작한다면 2년 이내에 분명한 성과를 달성할 수 있는 연구들이다. 또한, 4번 연구의 경우는 3번이 진행된 다음에 추진될 수 있는 연구로 연구 진행 순서가 존재하는 연구이다. 8번 연구 같은 경우는 야전부대의 부대 평가 방법론에 대한 정립이 먼저 진행되어야 하는 부분으로 가장 시일이 소모되는 연구가 될 것이다.

V. 결론

여단급 규모의 KCTC 훈련장과 시스템은 미국과 이스라엘을 포함하여 우리나라 육군만이 보유한 세계적인 Live 훈련장이다. KCTC 훈련은 육군의 모든 훈련 가운데 실 전장과 가장 유사한 훈련이라고 할 수 있다. KCTC 훈련은 FTX 보다 더 실전적이고, 훈련결과가 데이터로 축적되어 데이터에 근거한 사후분석이 상세하게 가능하여 훈련결과에 대한 과학적인 분석과 함께 야전부대에 중요한 교훈에 대한 환류가 가능하다.

KCTC 훈련의 중요성을 생각할 때에 KCTC 훈련결과 데이터에 대해서 과학적으로 분석하고, 훈련부대의 수준을 진단 평가하여 전투력 향상을 위한 개선 방안을 합리적으로 제시해 주는 것은 과학화된 육군으로 도약하고 있는 현실에서 의미 있는 일이고 중요한 일이다.

KCTC훈련이 이렇게 중요한 의미를 지녔지만, 연구결과 몇 가지 아쉽고 발전해야 할 부분이 많이 있음을 알게 되었다. 첫째, 과학화훈련이 갖는 중요성과 KCTC훈련이 시작된 이후의 기간으로 볼 때에 KCTC훈련과 관련된 연구가 너무 적게 되었다. 둘째, 대부분의 기존연구는 전투승패를 통합적인 요소가 아닌 KCTC훈련 결과 데이터로부터 획득한 전과나 생존율과 같은 단편적인 면에 집중한 경향이 있다. 전투승패 결과를 이런 단편적인 것으로 평가하는 것은 결과 판단에 한계가 있다. 셋째, 기존 연구들은 대부분 개별 전투원의 전투결과 분석에 치우쳤다. KCTC훈련은 개별 전투원의 전투기량을 향상시키는 목적도 있지만, 더 중요한 것은 부대 전투력을 향상시키려는 것이기 때문에 KCTC훈련 참가 부대들에 대한 전투 결과와 전투승패 요인을 분석하려는 시도가 더 중요할 수 있다. 넷째, 대대급 KCTC훈련이 종료

된지가 10여년이 되어가고, 2018년부터 여단급 KCTC훈련이 시작되었는데도 여단급 KCTC훈련에 대한 연구가 제대로 이루어지지 않고 있다는 점이다. 다섯째, 여단급 KCTC훈련결과 데이터로 분석하려고 할 때 데이터 축적이 안되거나 제대로 쌓이지 않아서 분석할 수 없는 상황도 많다. 축적되도록 구축된 시스템이 제대로 동작해서 데이터가 제대로 축적되고, 또 훈련결과 분석을 위해서 꼭 필요하나 쌓을 수 있도록 데이터를 정의하고 구축하는 시스템이 갖추어지지 않은 부분을 빨리 개선해서 쌓을 수 있도록 방안을 마련해야 한다. 여섯째, KCTC훈련결과 빅데이터에 AI를 적용할 수 있도록 빅데이터 구축 및 분석 Road-map이 필요하고, 그에 따른 KCTC 빅데이터에 AI를 적용하는 방안 연구도 필요하다.

본 연구에서는 이러한 기존 연구의 제한점들을 극복하고 KCTC훈련의 본질인 “실전에서 승리하는 훈련부대 육성”을 실현하기 위한 8가지 사항을 중심으로 KCTC훈련결과 분석 방안을 제안하였다. 8가지 방법은 다음과 같다. 첫째 정량적 분석과 술적 분석의 통합을 통한 전투승리요인 분석, 둘째 여단 훈련결과 진단 및 평가 방법론, 셋째 ATCIS를 이용한 전투 지휘와 KCTC훈련결과 데이터 융합 분석, 넷째 KCTC훈련의 지휘참모과정을 이용한 의사결정지원 AI모델 개발, 다섯째 전투결과 데이터 구축/분석 및 필수 데이터 축적 방안, 여섯째 전장가시화를 이용한 훈련결과 분석 디지털 상황판 구축, 일곱째 장기적인 데이터 구축 방안, 여덟째 KCTC훈련결과와 야전 훈련결과 연관성 분석이다. 각각의 방안에 대해서는 연구 필요성과 연구방법, 중점적으로 관심 갖고 연구해야 분야 그리고 사례 등에 대해서 제시하였다.

이러한 8가지 발전 방안에 대해서 장기적으로 어떤 추진 과정으로 진행되어야 하는 지에 대한 연구발전방향 Road-map도 함께 제시하였다.

본 연구에서 제안하는 발전방안들을 정책입안자와 KCTC단에서 관심 갖고 필요에 맞게 추진한다면 KCTC훈련의 본질에 한 걸음 다가설 수 있을 것으로 기대한다. 특히 데이터 축적과 관련된 부분은 시간이 늦어지면 늦어질수록 축적을 못하는 것들이 많아져서 많은 손해를 보게 되는 부분으로 우선적인 관심과 노력이 필요하다.

〈참고 문헌〉

- 과학화전투훈련단. 2020. 『19년 과학화전투훈련(KCTC) 교훈』.
- 김각규. 2014. “국방분야 빅데이터 활용방안 연구”, 국방대학교 박사 학위 논문. 문호석. 2018. “기계학습을 이용한 위게임 모델의 근접전투 전장상황 평가를 위한 전문가 시스템 연구”, 한국군사학논집, 74권, 3호.
- 김각규·김대성. 2014. “빅데이터를 통한 공격작전 승리요인 효과측정도구 개발 및 분석 : KCTC훈련사례를 중심으로”, 한국경영과학학회, 39권, 2호.
- 김기성. 2013. “사실기반 전투 의사결정을 위한 Big Data 활용방안 연구”, 국방대학교 석사 학위 논문.
- 김기성·최태련. 2020. “허들 및 영과잉 회귀모형의 베이지안 변화점 식별모형 : 과학화 전투훈련 전투단계 변화 분석”, 한국데이터정보과학회지, 31권, 6호.
- 김재오·방성완·권오정. 2017. “영과잉 및 허들회귀모형을 이용한 과학화 전투훈련 자료 분석”, 한국데이터정보과학회지, 28권, 6호.
- 김재오·조형준·김각규. 2015. “전술제대 공격작전 간 전투원 생존성에 관한 연구”, 한국통계학회지 응용통계연구, 29권, 5호.
- 김판열. 2011. “『강인한 훈련』을 통한 부대관리 향상방안”, 국방대학교 안보과정 연구 논문.
- 문호석. 2018. “기계학습을 이용한 위게임 모델의 근접전투 전장상황 평가를 위한 전문가 시스템 연구”, 한국군사학논집, 74권, 3호.
- 문호석·김수환. 2018. “훈련용 위게임 모델의 다중해상도모델링 운영소요 및 전투21모델과 TMPS의 다중해상도 연동간 주요 이슈 해결 방안 연구”, 한국군사과학기술학회지, 21권, 6호.
- 박진영·김정환·김채동·김태성·문호석. 2021. “여단급 KCTC훈련 곡사화기 전투결과 분석”, 한국군사학논집, 77권, 1호.
- 백창일. 2013. “빅데이터 분석을 활용한 지상군 훈련 전투원의 생존시간에 관한 연구”, 국방대학교 석사 학위 논문.
- 육군본부. 2019. 『지상작전』.
- 육군본부. 2018. 『보병여단』.
- 육군본부. 2016. 『교육참고 8-7-39 여단(연대) 전투훈련지침서』.
- 육군교육사령부. 2013. 『교육참고 8-3-23 제병협동전투 : 연대전투단을 중심으로』.
- 윤여표. 2015. “전장리더십이 전투력에 미치는 영향에 관한 연구”, 대전대학교 박사 학위 논문.

- 전은주. 2010. “데이터 마이닝을 이용한 과학화전투훈련 성과 향상방안 연구”, 국방대학교 석사 학위 논문.
- 최근하. 2020. “기능분석법을 이용한 인공지능 기반 전술제대 지휘결심지원체계의 개념설계”, 한국군사과학기술학회지, 23권, 6호.
- 최재영. 2017. “KCTC훈련데이터 분석을 통한 대대급 이하 부대의 전투승리 요인 연구”, 국방대학교 석사 학위 논문.
- 한국방위산업진흥회. 『국방과 기술』(2018).
- 한정욱·이민호·박진영·문호석. 2021. “분할 선형 회귀모형을 이용한 여단급 KCTC 방어작전간 보병대대 전투승리 영향요소 분석.”한국군사학논집, 77권, 2호.
- 한창희·신규용·최성훈·문상우·이치우·이종관. 2020. “AI 참모 구축을 위한 의사결심조건의 데이터 모델링 방안”, 한국인터넷컴퓨터서비스학회지, 11권, 1호.
- 허명희. 2017. 『R 프로그래밍』. 파주: 자유아카데미.
- Philip, Russom. 2011. “Big Data Analytics”, TDWI Research.
- Faraway, J. 2015. 『Linear Models with R Second Edition』, A Chapman & Hall/CRC

4차 산업혁명시대의 스마트 국방을 위한 국방사업관리 분석기법 연구

국방대학교 교수 조 남 석*

국방대학교 교수 윤 봉 규*

국방대학교 교수 이 춘 주*

- I. 서론
- II. 국방사업관리를 위한 최적화 분석
- III. 국방사업관리에 필요한 확률적 현상 분석 방법
: R을 활용한 마코비안 모형 구축/분석
- IV. 국방사업 성과분석 : R을 활용한 자료포락분석
- V. 결론

요 약

본 연구는 사업관리 현장에서 실제로 사용할 수 있는 대표적인 과학적 기법을 제시하고 다양한 예시(사례)와 함께 그 절차를 이해하기 쉬운 수준으로 논의하였다. 독자가 사업관리 계량 분석 주요 방법론을 이해하고 분석 방법론별로 주요 사례를 소개하였으며 현장에서 활용 가능한 분석 도구의 활용법 및 코드를 제시하였다. 사업관리 분석방법론으로는 가장 대표적인 공학적 기법인 최적화 기법, 마코비안 모형, 자료포락분석에 대해 논의하였다.

이를 위해, 기존연구 검토, 각 방법론 개념 및 적용 방향성 설명, 적용 사례 발굴 등의 방법으로 논의를 진행하였다. 특히, 본 연구에서는 사업관리 현장의 실무자들이 직접 방법론을 실행해 볼 수 있도록 대표적인 오픈소스 범용 툴인 R을 그 대상으로 하여 최적화 모형

* II장은 조남석, III장은 윤봉규, IV장은 이춘주 교수가 주로 작성하였음.

의 구현 및 풀이, 마코프 체인 상태 변화 확률 연산 및 성능척도 계산, 의사결정단위 효율성 평가 등에 대한 다양한 코드와 사용법을 제안하였다.

본 보고서를 통해 사업관리 현장의 실무자들이 주요 공학적 방법론을 개괄적으로 이해하고 각 방법론의 구현방법을 체험함으로써 향후에 직접적인 활용 또는 추가적인 연구를 진행할 수 있는 방향성을 제시해 줄 것으로 기대한다.

I. 서론

1.1. 연구 배경 및 필요성

4차 산업혁명으로 경제, 사회, 문화 등의 전 영역에서 패러다임적 변화가 일어나고 있으며, 이에 대응하기 위해 주요 의사결정자들이 기술을 이해하는 것이 과거에 비해 중요해졌다. 이렇듯 과학기술이 국가안보에 미치는 영향이 커지고, 안보 문제가 기술 전문가 집단에 의해서 조정/통제되는 현상은 ‘기술화(Technofication)’라는 용어로 정의될 정도로 중요한 현상으로 부각되고 있다(민병원, 2017).

과학기술의 중요성을 반영하여 국방개혁 2.0은 전방위 안보 위협에 대비할 수 있는 ‘첨단 과학기술 기반의 군구조 건설’을 핵심 비전으로 삼고 있다. 한편, 국방부는 신년 업무보고에서 변화하는 안보환경에 부합하는 ‘정예 군사력 구조’로 군구조를 발전시키고 이를 반영한 기술집약형 부대구조를 만들겠다는 계획을 발표했다(국방부, 2021).

첨단과학기술이 주도할 미래 국가안보와 전장환경을 고려할 때, 첨단과학기술 기반의 군구조 건설은 그 추진 결과에 따라 국운이 좌우될 정도로 중요하다. 그런데 이런 전력건설 사업은 추진기간이 길고 다양한 이해 관계자가 관여하는 대규모 국가적인 사업인 경우가 많다. 첨단과학기술군 건설에 중요한 비중을 차지하고 있는 첨단무기체계 도입의 경우 소요 제기부터 획득까지 10년에서 길게는 20년의 기간이 소요되고, 소요군, 방사청, 방산업체 등 추구하는 목표가 다른 여러 집단이 관여하고 있어 사업을 성공적으로 추진하는 것이 민간 사업에 비해 상대적으로 쉽지 않다. 따라서 의사결정과정의 투명성 확보, 예산 집행의 효율성, 체계적인 위험관리 등 사업 추진 결과의 성공 가능성을 높일 수 있는 과학적인 사업관리 방법이 그 어느 때 보다 필요하게 되었다.

한편, 4차 산업혁명은 정보의 축적과 분석 기술의 혁신을 바탕으로, 디지털 기술(정보화 기술)을 현실세계에 접목함으로써 먼 미래에나 가능할 것으로 생각했던 다양한 문제에 대한

돌파구를 제시하고 있다(김영호 외, 2020). 4차 산업혁명의 과정에서 빅데이터로 명명되는 대규모 데이터의 축적을 바탕으로 이를 활용하기 위해서 다양한 분석 기법과 도구들이 개발되었다. 그 결과 이전에는 전문가들이나 가능했던 분석을 엑셀을 사용하는 것과 같이 용이하게 수행할 수 있게 되었다. 특히 빅데이터 분석 도구인 R은 데이터 정리와 정제, 분석, 인포그래픽스(Infographics) 등 자료 분석과 관련된 다양한 분석 기법이 라이브러리로 제공되어 분석기법에 대한 개념적 이해만 있으면 패키지를 활용한 분석을 수행하여 결과를 도출할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

국방사업의 성공 가능성을 높이기 위한 의사결정과정의 투명성 확보, 예산 집행의 효율성, 체계적인 위험관리를 위해서는 데이터에 근거한 과학적인 사업관리가 필요하다. 4차 산업혁명으로 사업관리 관련 자료는 과거에 비해 엄청나게 축적되고 있지만, 이를 실제로 활용하는 것은 여전히 전문가에 의존하거나 그렇지 않으면 간단한 기초통계 정도만 활용하고 있는 경우가 많다. 그 이유는 분석 도구들이 비약적으로 발달 했음에도 불구하고 한국 현실에 맞는, 실무자가 활용할 수 있는 맞춤형 분석 방법이 제공되지 않았기 때문이다. 이에 본 연구에서는 실무자들의 과학적 사업관리 역량을 제고할 수 있는 문제해결 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구목표 및 범위

본 연구의 목표는 국방사업관리 현장에서 발생할 수 있는 문제를 과학적 기법으로 해결하는 방법과 사례를 제시하는 것이며, 구체적으로는 다음과 같다.

- 가. 무기체계 선택, 신뢰도 평가, 대안 비교 등 국방사업관리 분야의 핵심 문제를 해결하기 위한 분석기법 제시
- 나. 분석기법을 도구(툴)를 활용하여 구현할 수 있는 방법 제시
- 다. 실무에서 활용 가능한 분석 기법을 통해 국방사업관리 수준 제고 선순환 고리 (전문가와 실무의 괴리 극복)

1.3. 선행연구와의 차별성 및 독창성

본 연구의 차별성 및 독창성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 가. 과학적 사업관리에 활용도 높은 분석 방법론 제시

본 연구에서는 사업관리의 문제들을 해결할 수 있는 가장 활용도 높은 방안을 제시한다.

이를 위해, 연구진은 각 분야(최적화, 마코비안 이론, DEA)의 전문가로 구성하였다. 예를 들어, DEA의 경우 CAIV, SE, EVM 등과 함께 국방자원관리의 효율화를 위한 과학적 사업 관리 방법으로서 활용성을 제시한다.

나. 패키지를 활용하여 실제 현장에 바로 적용할 수 있는 분석 방안

국방 분야에서 널리 활용되고 있는 R 프로그램(인터넷 환경에서도 사용 가능)을 통한 핸드북 형식의 실증분석 사례를 제시함으로써 방법론에 대한 접근성을 제공하고 현장의 자료를 이용해서 분석을 시도할 수 있는 방법을 상세히 설명한다. 특히, 본 연구는 평소 방법론을 쉽게 접하지 못했던 비전문가들이 쉽게 이해할 수 있고 활용이 가능하도록 내용을 구성한다.

다. 응용성 높은 모형으로 다양한 현실적인 상황을 분석 가능한 방안

국방 분야의 문제 특성을 고려하여 획득체계, 기획관리체계, 사업관리체계에 대한 조건을 고려한 모형을 제시한다. 또한, 제시된 모형이 현장의 문제와 다소 상이하더라도 그 모형을 어떻게 개선하여 문제를 해결할 수 있는지에 대해서도 논의한다.

1.3. 연구의 방법 및 기대효과

본 연구는 본 연구는 국방사업관리 분야의 실무자 또는 관리자(의사결정자)에게 과학적 분석기법의 중요성을 인식하고 실질적인 도움을 줄 수 있는 내용으로 구성한다. 본 연구를 통한 국방사업관리 분야에서의 기대효과는 다음과 같다.

가. 현실적합성이 높은 사업관리 분석 방안 제시로 각 현장에서의 활용성 증대

과학적 분석기법은 현실에서의 실제로 활용되고 응용될 때 의미가 있다. 본 연구는 가장 현실적합성이 높은 방법론을 그 대상으로 한다.

나. 과학적인 분석을 통한 효과적인 첨단과학군 건설

사업관리 현장의 실무자 및 관리자가 과학적 분석의 중요성을 인식하고 또 업무에 이를 적용하기 위해 노력할 때 미래 국방개념과 일치하는 첨단과학군 건설이 가능해 진다. 본 연구는 이를 위한 지침서로 활용될 수 있다.

다. 스마트 국방 기반 강화를 통한 국방 분야 효율성 증대

국방개혁2.0에서 제시하고 있는 ‘스마트 국방’은 국방자원관리의 효율성을 극대화 한다는 비전을 표현한 것이다. 본 연구에서는 국방자원관리의 효율성을 추진하기 위한 국방분석 방법론을 제시하고 국방기획관리체계, 획득체계, 그리고 사업관리체계에 실제 적용성을 모색하고자 한다. 이를 통해 4차 산업혁명 기술을 적용한 무기체계의 확보를 위한 과학적인 분석방법론을 제공하고 벤치마킹 대상을 식별하여 경쟁우위를 달성하기 위한 노력의 지향점을 제시할 수 있을 것이다.

II. 국방사업관리를 위한 최적화 분석

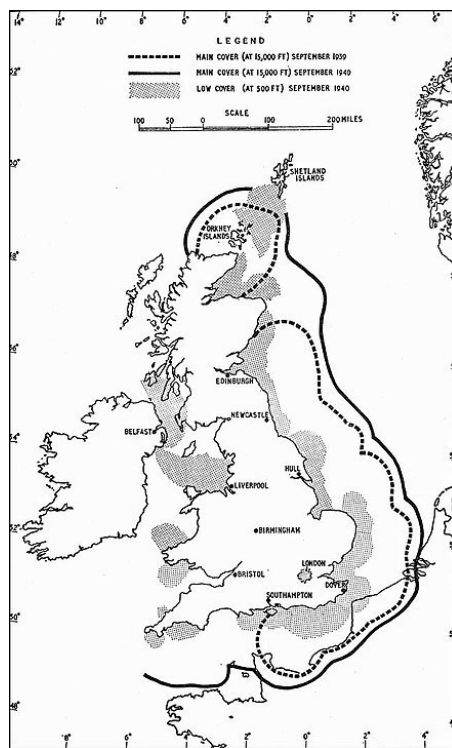
2.1. 이론적 배경

최적화 방법론은 가장 좋은 답(best)을 찾기 위한 이론이다. 가장 좋은 답은 특정한 상황, 즉 문제의 가정에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 어떤 사람이 강을 건너는 문제를 생각해 보자. 강을 건너는 가장 좋은 답은 무엇일까? 보트를 타고 건넌다 또는 직선으로 강을 도하한다 등 여러 가지 답이 나올 수 있다. 하지만, 특정한 상황이 부여되면 최적의 답은 바뀌기 마련이다. 예를 들어, 유속이 굉장히 센 강을 건너는 상황이라면 직선으로 수영을 해서 강을 건너는 것은 최적의 답이 될 수 없다. 이처럼, 가장 좋은 답은 상황, 즉 문제의 가정에 따라 변할 수 있다. 하지만, 여기서 중요한 사실은 어떤 가정 하에서도 가장 좋은 답이 존재한다는 것이다.

가장 좋은 답을 찾는 것이 최적화 방법론이라고 했을 때, 가장 좋은 답은 누가 어떻게 제시를 할 수 있을까? 정성적으로 토의를 통해 가장 좋은 답을 제시하는 방안 또는 정량적으로 계산하여 답을 찾는 방법 등이 있겠지만 최적화 이론에서는 가장 좋은 답은 수학적식에 의해 결정된다. 즉, 문제를 만들어 낸 사람 또는 문제를 푸는 사람이 그 답을 제시하는 것이 아니라 온전히 수학적식의 관계에 의해 답이 찾아진다는 것이다. 이제까지의 논의를 바탕으로 최적화 방법론은 다음과 같이 정의할 수 있다.

최적화 방법론은 특정한 가정 하에서 수학적식에 의해 결정되는 가장 좋은 답을 찾는 방법론
가장 좋은 해답이 이론적으로는 수학적식에 의해 결정되기 때문에 최적화 방법론은, 엄밀하

계는, 수학과 깊게 연관이 있으며 특히 실수를 다루는 해석학(Real Analysis), 행렬과 벡터의 연산을 다루는 선형대수학(Linear Algebra), 그리고 미적분학(Calculus) 등이 학문의 뿌리를 형성하고 있다. 하지만, 최적화라는 방법론이 수학의 공식들에서 벗어나 현실의 문제를 본격적으로 풀기 시작한 것은 해결해야 할 문제의 크기가 급속하게 커지고 또 그것을 계산할 수 있는 계산기의 능력이 현격히 증가하기 시작한 2차 세계대전 전후라고 할 수 있다. 즉, 2차 세계대전을 학문적 태동기로 삼고 있는 운영분석(Operations Research)과 최적화 방법론의 발전은 그 시기를 함께하고 있다.



〈그림 2-1〉 1939년 영국군의 레이더 배치 연구

* 출처 : 위키피디아

1947년 George Dantzig가 고안한 Simplex Method는 최적화 방법론의 핵심 이론인 선형계획법(Linear Programming)을 빠르게 해결할 수 있는 길을 열어주었고, 이후 최적화 연구는 본격적으로 확장되기 시작하였다. 연구의 방향은 크게 현실의 문제를 수학 모델로 표현하는 연구와 수학 모델을 더 빠르고 효율적으로 풀기 위한 연구로 진행되었으며 이 과정에서 최적해 판정 조건(optimality condition), 쌍대 이론(duality), 알고리즘

(Iterative Search, Gradient Search) 등 많은 이론의 발전이 이루어졌다. 2차 세계대전에서 영국과 미국의 ‘과학적’ 방법론이 전쟁의 승리에 크게 기여한 것이 알려지면서 최적화 기법을 군사 영역 뿐 아니라 정치, 경제 등 사회전반에 걸쳐 활용하는 연구가 확산되기 시작한다.

전후인 1953년에는 미국의 약 75%의 연구기관들이 운영분석 섹터를 보유하기 시작하며, 학교에서도 최적화를 학문으로서 가르치기 시작한다. (조남석, 2019; Shrader, 2006) 이후 최적화 방법론은 생산, 금융, 운송, 물류, 통신 시스템 등 사회 전 영역의 문제를 해결하기 위해 활용된다. 잘 알려진 성공사례로는 조종사의 시프트 스케줄을 최적화하여 \$6 million을 절약한 United Airline(1986), 석유의 공급 절차를 최적화 하여 \$70 million을 절약한 Citgo(1987), 순찰 스케줄링을 최적화 하여 연간 17만 인력시간을 창출한 샌프란시스코 경찰국, 콜센터 시스템을 개선하여 \$750 million을 절약한 사례 등이 있다. (홍성필, 2014)

1980년대 이후에는 다루어야 할 문제의 크기가 급격하게 커짐에 따라 정확한(exact) 해답 보다는 근사한(approximate) 해답을 빠르게 도출하는 다양한 최적화 방법론들이 연구되기 시작하는데 많은 메타 휴리스틱(Meta-heuristic) 방법론이 이때 발표된다. 대표적으로는 1983년 발표된 Simulated Annealing, 1992년 발표된 Ant Colony Optimization, 1980년대에 상업화된 알고리즘으로 알려지기 시작한 Genetic Algorithm 등이 있다.

최적화 이론은, 최근에는, 인공지능 알고리즘의 이론적 토대를 제공하고 인공지능 알고리즘을 개선하는데 활용되고 있다. 최적화 이론은 근본적으로 수학적식을 다루는 학문이기 때문에 그것을 이해하는 데 많은 시간과 노력이 요구되는 것이 사실이다. 하지만, 가장 정확한 해를 제시한다는 강점을 가지고 있으며 현실에서 발생하는 많은 문제들을 쉽게 구성하고 풀이할 수 있는 다양한 툴을 풍부하게 가지고 있다는 점에서 그 활용 빈도가 증가하고 있다.

2.2. 응용 사례

현실의 문제를 최적화 방법론으로 풀기 위해 만들어진 모형(model)을 최적화 모형(optimization model)이라고 부른다. 현실의 문제들은 복잡하고 불확실성을 내포하고 있기 때문에 목적에 부합하는 간략하게 표현된 모형으로 구성되어야 하며 최적화 모형은 수학적식으로 구성되어 있기 때문에 이를 수리모형(mathematical model)이라고도 부른다. 본 장에서는 사업관리 현장에서 발생할 수 있는 다양한 사례를 실제 최적화 모형으로 표현하고 푸는 방법에 대해 설명한다.

2.2.1. 최적화 모형의 구성요소

실제 사례를 살펴보기 전에 최적화 모형의 기본 구성에 대해 먼저 설명한다. 최적화 모형은 다음과 같은 세 가지 구성요소를 가지고 있다.

- ① 결정변수(decision variable)
- ② 목적함수(objective function)
- ③ 제약식(constraints)

① 결정변수(decision variable)

결정변수는 내가 해결하고자 하는 문제에서 결정해야할 변수를 의미한다. 예를 들어, 내년도 사업예산 할당 문제를 푸는 경우 각 기관별 할당되는 금액 또는 비율이 결정변수가 될 수 있고, A사단의 무인전투차량 소요를 계산해야 하는 경우 배치되어야 할 무인전투차량의 개수가 결정변수이다. 이처럼, 결정변수는 실수(real value)일수도 있고(예를 들어, 전투원의 2차원 공간속 위치좌표, 비율 등) 정수(integer)일수도 있다(예를 들어, 전투원의 수, 장비의 수 등). 어떤 문제에서 내가 결정해야 하는 변수는 하나일 수도 있고, 몇 천개가 될 수도 있다.

② 목적함수(objective function)

목적함수는 내가 문제에서 목적으로 하는 것이 무엇인지를 정의한다. 예를 들어 내년도 사업예산 할당을 해야 한다고 할 때, 내 목적은 “사업예산의 총액을 가장 아끼는 것”이 될 수도 있고, “불용액을 최소화 하는 것”이 될 수 있다. 또 다른 예로, 야전 정비를 지원하는 정비시설의 위치를 결정하는 문제에서는 “정비시설과 피지원 부대의 거리를 최소화 하는 것”이 목적이 될 수 있을 것이다. 또는 “피지원 부대의 정비 지원 최대화”가 목적이 될 수 있다. 이처럼, 목적함수는 무언가를 ‘최대화(Maximize)’ 또는 ‘최소화(minimize)’하도록 정의된다. 목적함수는 대부분의 경우 결정변수들의 덧셈, 뺄셈, 또는 곱하기 등 변수들의 관계를 정의하게 된다.

③ 제약식(constraints)

제약식은 내가 해결하고자 하는 문제의 제약요소들을 표현한다. 예를 들어, 내년도 사업예산 할당 문제에서 제약이 없다면 요구되는 사업 모두에 대해 원하는 만큼 예산 지원이 될 것이다. 하지만, 현실에서는 회계연도별 정해진 예산 총액이라는 제약이 존재한다. 또한,

특정 부서의 사업에만 예산이 지원되면 안된다는 일종의 형평성 제약 역시 존재할 수 있다. 가장 간단하게는 예산은 음수일 수 없다는 것 역시 제약으로 고려해야 한다. 이러한 현실의 수많은 제약들이 수학적식으로 표현되어 최적화 모형에 더해진다.

최적화 모형은 지금까지 간략하게 살펴본 세 가지 구성요소의 나열로서 표현된다. 가장 일반적으로 표현된 최적화 모형은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\min c^T x \tag{2-1}$$

$$\text{s.t. } Ax \leq b \tag{2-2}$$

$$x \in \mathbb{R}^n \tag{2-3}$$

먼저, 식 (2-1)은 목적함수를 표현하고 있다.

목적함수는 $c^T x = \sum_{i=1}^n c_i x_i = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$, 즉 벡터 $c = \begin{bmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix}$ 와 벡터 $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$ 의 곱으로 표현된다. 여기서 벡터 c 는 cost 벡터라고도 하며 고정된 값을 가지는

파라미터이다. 벡터 x 는 최적화 모형의 첫 번째 구성요소인 결정변수이다. 예를 들어, 임의의 목적함수를 벡터의 곱으로 표현하는 방법은 <그림 2-2>에서 보는 것과 같다.

$$x_1 - x_2 = \begin{matrix} \xrightarrow{\text{red}} \\ \downarrow \end{matrix} [c_1, c_2] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = [1, -1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

<그림 2-2> 목적함수의 표현 방법

식 (2-2)는 제약식을 표현한다. 식의 정의에 앞서 표기된 s.t.은 subject to의 약자로서 제약식을 기술하기 전에 표현하는 일종의 약속이다. $Ax \leq b$ 에서 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$ 는 크기가 $m \times n$ 인 행렬이다. A는 n개의 열(column)과 m개의 행(row)으로 구성되어 있다. 제약식은 이처럼 행렬을 이용하여 표현될 수 있다. 예를 들어, <그림 2-3>의 우측에 기술된 4개의 제약식은 좌측에 표현된 것처럼 행렬과 결정변수 벡터의 곱으로 표현된 것이다. 이렇게 제약식을 표현하는 경우 결정변수는 모두 식의 좌변에서 표현된다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 30 \\ 40 \\ 10 \\ 20 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} 1x_1 + 2x_2 \geq 30 \\ 3x_1 + 4x_2 \geq 40 \\ 1x_1 + 0x_2 \geq 10 \\ 0x_1 + 1x_2 \geq 20 \end{cases}$$

〈그림 2-3〉 제약식의 표현 방법

지금까지는 최적화 모형의 구성요소와 그것의 표현방법에 대해 논의하였다. 어떤 최적화 모형이 만들어 졌을 때 그것을 푸는 방법을 찾는 것은 최적화 이론의 대부분을 차지하는 중요한 연구 분야이다. 다만, 본 보고서의 목적은 최적화 방법론을 소개하고 툴을 사용하여 최적화 모형을 푸는 방법을 소개하는 것이기 때문에 실제로 최적화 모형이 어떤 원리로 풀리는지에 대해서는 논의하지 않고, R을 사용하여 답안을 도출하는 방법에 대해 집중적으로 설명한다.

2.2.2. 최적화 모형의 구성을 위한 툴

최적화 문제를 컴퓨터(엄밀하게는 Solver라고 부르는 알고리즘)로 푸는 방법은 다양하다. 〈그림 2-4〉에서 보는 것처럼, GAMS¹⁾로 코딩할 수도 있으며, 일반적으로 많이 사용하는 Microsoft Excel을 활용할 수도 있다. 보고서의 1장에서 밝힌 바와 같이 본 연구에서는 강력하고 가장 잘 알려진 오픈소스 툴인 R을 활용하는 방법에 대해 설명한다.



〈그림 2-4〉 최적화 모형을 풀기 위한 다양한 툴

R에서 최적화 문제를 풀이하기 위해서는 이를 위해 제작된 패키지의 사용이 필요하다. 본 보고서에서는 Michel Berkelaar 등이 제작하고 배포한 lpSolve 패키지를 활용한다.

1) THE GENERAL ALGEBRAIC MODELING SYSTEM (www.gams.com)

lpSolve 패키지는 C로 제작된 무료 오픈소스 패키지로 선형문제, 정수문제, 혼합정수문제의 풀이가 가능하다. 본 연구보고서의 lpSolve의 사용법에 대한 참조는 모두 공식 홈페이지²⁾에 게시된 매뉴얼을 참조하였다. lpSolve 패키지를 활용하기 위해서는 먼저 패키지를 서버에서 다운받아야 하는데 다음과 같은 명령어를 콘솔에 입력하여 실행할 수 있다.

```
> install.packages("lpSolve")
```

R을 활용하여 최적화 문제를 푸는 방법과 lpSolve의 다양한 기능에 대한 설명은 다음 장에서 계속한다. 지금부터는 실제 사례 분석을 통해 최적화 모형의 표현과 그것을 푸는 방법에 대해 살펴본다.

2.2.3. Case 1 : 순찰에 필요한 드론 대수 결정

우리가 해결해야 할 문제를 다음과 같이 정의한다.

국방개혁 등 병력감소에 따라 해안을 무인기로 순찰하는 상황을 고려한다. 육군 ○사단의 한 연대에서 시간대별로 순찰에 필요한 무인기의 대수를 <표 2-1>과 같이 산출하였다. 예를 들어, 자정부터 06시까지 33대의 무인기가 필요하고, 낮 시간인 06시부터 12시까지는 24대의 무인기가 필요하다. 이 대수는 필요한 최소한의 대수이기 때문에 이 수보다 많은 무인기를 순찰에 투입하는 것은 문제가 없다. 또한, 무인기는 연속해서 12시간 임무를 수행하고 나면, 반드시 정비 시간을 12시간을 가져야 한다고 가정한다. 예를 들어, 00시부터 12시까지 정찰 임무를 수행한 무인기는 12시부터 00시까지는 무조건 정비를 해야 한다. 주어진 상황에서 사업관리 비용을 최소화하기 위한 무인기의 최소 필요 대수는 얼마인가?

<표 2-1> 시간대별 필요한 드론의 대수

시간	00-06	06-12	12-18	18-00
대수	33	24	12	30

2) lpSolve Version 5.6.15, csardi.gabor@gmail.com, URL : <https://github.com/gaborcsardi/lpSolve>



〈그림 2-5〉 무인기 문제의 그림 도식

이 문제를 풀기위해 독자들은 다양한 방법을 시도해 볼 수 있다. 여러 가지 경우의 수를 대입해 보며 가장 최소의 대수를 찾는 방법이 있고, 임의의 수의 조합을 계속 대입하여 가능한 좋은 해를 찾아내는 방법도 있다. 앞서 설명한 바와 같이 가장 정확한 해는 최적화 방법으로 찾을 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 최적화 모형을 다음과 같이 구성한다. 앞서 기술한 바와 같이 최적화 모형은 다음의 세 가지 요소로 구성된다.

① 결정변수 : x_i : i 시간에 임무를 시작하는 무인기의 대수.

예를 들어, $x_1 = 33, x_2 = 24, x_3 = 12, x_4 = 30$ 라고 한다면 〈표 2-2〉와 같이 무인기가 정찰을 하게 될 것이다.

〈표 2-2〉 드론 편성 안의 예

시간	00-06	06-12	12-18	18-00
00시에 시작	33	33	정비	정비
06시에 시작	정비	24	24	정비
12시에 시작	정비	정비	12	12
18시에 시작	30	정비	정비	30

이 경우 00시부터 06시까지는 총 63대(= 33+30, 00시에 임무를 시작한 33대와 어제 18시에 임무를 시작하여 지금까지 날고 있는 30대)의 무인기가 정찰을 하고, 06시부터 12시까지는 총 57대(= 33+24)가 정찰을 하고 있다. 〈표 2-2〉의 안은 〈표 2-1〉에서 요구하는 최소한의 필요대수는 만족하지만 너무 많은 초과가 있기 때문에(예를 들어, 12시부터 18

시까지는 12대가 필요한데 36대가 임무 수행 중) 분명 최적해(optimal solution)가 아닐 것이다. 최적해를 만드는 결정변수의 값이 어떤 것인지 현재로서는 알 수 없지만 우리는 최적화 모형을 구성해서 이를 찾게 된다.

② 목적함수 : 무인기의 대수를 최소화

목적함수는 Min 또는 Max 해야 하는 식으로 정의된다. 이 문제에서는 사업관리 비용을 최소화해야 하며, 이는 곧 경찰에 투입하는 무인기의 비용을 최소화 하는 것이다. 무인기의 비용을 최소화 한다는 것을 수학적식으로 표현한다면 각 시간대별로 임무를 시작하는 무인기의 합을 최소화 하는 것이며 앞서 정의한 결정변수를 사용하여 이를 정의하면 다음과 같다.

$$\min x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \tag{2-4}$$

③ 제약식

만약, 어떤 제약식도 없이 최적화 모형을 풀게 되면 결정변수는 $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 0$ 의 값을 가지게 된다 (물론, 이 경우에도 결정변수는 음수일 수 없다는 제약이 있다). 식 (2-4)를 최소로 만드는 값은 모두가 0일 때이기 때문이다. 하지만, 이 해는 우리가 원하는 방안이 아니다. 따라서, 제약식의 정의가 필요하다. 시간대별로 필요한 수만큼 무인기가 임무를 수행하고 있어야 한다는 제약을 만들고, 이를 수학적식으로 표현해야 한다. <표 2-2>에서 보면 00시부터 06시까지 경찰을 하는 무인기는 00시부터 경찰을 시작한 무인기와 18시부터 경찰을 시작해 여전히 임무를 수행하고 있는 무인기가 포함되는 것을 알 수 있다. 따라서, 이 두 결정변수의 합이 <표 2-1>에서 정의한 최소 필요대수인 33대 보다는 많아야 한다는 제약식을 표현할 수 있다. 마찬가지로, 다른 시간대 역시 제약식을 더하고 이를 모두 반영한 최적화 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \min \quad & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \\ \text{s. t.} \quad & x_1 \quad \quad \quad + x_4 \geq 33 \\ & x_1 + x_2 \quad \quad \quad \geq 24 \\ & \quad \quad x_2 + x_3 \quad \quad \geq 12 \\ & \quad \quad \quad x_3 + x_4 \geq 30 \end{aligned}$$

<그림 2-6> 무인기 문제 해결을 위한 최적화 모형

〈그림 2-6〉와 같은 최적화 모형은 수학적식으로 표현되어 있으며, 수식의 계산을 통해 해를 도출할 수 있다. 예를 들어, 결정변수의 값을 바꾸어 가면서 제약식을 모두 만족하면서 가장 작은 목적함수 값을 주는 해를 찾아낼 수 있다. 하지만, 문제가 복잡해질 경우 손으로 또는 그래프를 그려 문제를 푸는 것은 거의 불가능하다. 이 경우 툴의 사용이 요구된다. 2.2.2절에서 설명한 바와 같이 R과 lpSolve 패키지를 이용하여 최적화 모형을 표현한 모습은 다음과 같다.

```
require(lpSolve)
C <- c(1,1,1,1)
A <- matrix( c(1, 0, 0, 1,
               1, 1, 0, 0,
               0, 1, 1, 0,
               0, 0, 1, 1), nrow=4, byrow=TRUE)
B <- c(33,24,12,30)
RHS <- c(">",">",">",">")
optimum <- lp(direction="min",
               objective.in = C,
               const.mat = A,
               const.dir = RHS,
               const.rhs = B,
               all.int = T)
```

먼저, require(lpSolve)는 lpSolve라는 패키지를 사용하기 위해 호출하는 명령어이다. 다음으로, 문제의 목적함수를 정의하는 벡터를 C라고 한다. 여기서 C는 단순히 저자가 선택한 이름일 뿐 다른 문자로 정의해도 무방하다. 식 (2-4)에서 보는 것처럼 모든 결정변수는 계수(coefficient, 결정변수 앞에 곱해지는 수)가 1이며, 따라서 4개의 1로 구성된 벡터로 C를 정의한다. 만약, 목적함수가 식 (2-5)와 같았다면 C는 식 (2-6)과 같이 정의해야 한다. x_2 , x_3 가 목적함수에 없어 계수가 0임을 알 수 있고 x_1 , x_4 의 계수는 각각 2, -3이기 때문이다.

$$\min 2x_1 - 3x_4 \tag{2-5}$$

$$C <- c(2,0,0,-3) \tag{2-6}$$

다음은, <그림 2-6> 최적화 모형의 제약식을 코딩하기 위해 A 행렬(matrix)을 정의한다. 제약식이 4개이기 때문에 행이 4개(이것을 나타내는 코딩 표현은 nrow=4 이다)인 행렬이 만들어지며, 최적화 모형의 제약식에서 계수가 1인 변수와 0인 변수를 각각 위치에 맞게 정의한 것을 알 수 있다. 여기서, byrow=TRUE는 디폴트 값으로 간주한다. 만약, 이 값을 FALSE로 선정하면 행렬의 열과 행이 전치된다. 만약, 식 (2-7)과 같은 제약식을 표현해야 한다면 A 행렬의 정의는 식 (2-8)와 같을 것이다. 총 2개의 제약식이 있고, 각 제약식에 관여하지 않는 변수는 계수가 0으로 표현된 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} 2x_1 + 0.5x_2 &\leq 10 \\ 3x_1 &- 5x_3 \geq 3 \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$A \leftarrow \text{matrix}(c(2, 0.5, 0, 3, 0, -5), nrow=2, byrow=TRUE) \quad (2-8)$$

다음은, 최적화 모형에서 각 제약식의 우측(우변)에 있는 수치를 표현하기 위해 벡터 B를 $B \leftarrow c(33, 24, 12, 30)$ 와 같이 정의한다. <그림 2-6>의 제약식에서 우변에 표시된 숫자들이 하나의 벡터로서 표현됨을 확인할 수 있다. 만약, 식 (2-7)의 제약식을 표현하기 위해서는, 벡터 B는 $B \leftarrow c(10, 3)$ 와 같이 정의될 것이다.

마지막으로, 최적화 모형의 제약식에서 좌변과 우변의 관계를 설정하는 식(relation)을 표현해야 한다. 제약식은 모두 좌변이 우변보다 커야 하기 때문에 다음과 같이 표현할 수 있다: RHS $\leftarrow c("<=", ">=", "=", ">=")$. 여기서 \geq , \leq , $=$ 의 수학기호는 각각 $>=$, $<=$, $=$ 로 표현된다. 만약, 식 (2-7)의 제약식을 정의하기 위해서는 RHS $\leftarrow c("<=", ">=")$ 와 같이 정의해야 한다 (첫 번째 제약식은 우변이 크다고 정의되어 있다).

다음은, lpSolve 패키지에서 제공하는 함수를 사용하여 지금까지 정의한 벡터와 행렬을 모두 활용하여 최적화 모형을 만드는 작업이다. 이 문제는 최소화 문제이기 때문에 direction="min" 로 정의하고 목적함수는 C 로 정의했기 때문에 objective.in = C 로 표현한다. 제약식의 정의에 필요한 행렬과 우변, 그리고 관계식의 이름을 각각 const.mat = A, const.dir = RHS, const.rhs = B로 표현한다. 단순히, 패키지의 문법에 맞추어 이름을 매칭시키는 작업이다. 마지막으로, 본 문제에서 무인기의 대수는 정수이기 때문에 all.int = T를 추가한다. 무인기의 대수가 정수라는 것은 1대, 2대와 같이 표현되는 것을 의미하고, 2.5대, 3.1대와 같은 수치를 가지지 않는 것을 의미한다. 이렇게 최적화 모형이 만들어지면 lp라는 함수의 호출을 통해 최적해와 풀이에 관련된 정보들이 optimum 이라는 벡터 공간에 저장된다. 이제 남은 단계는 답을 확인하는 단계이다.

먼저, 다음과 같은 명령어를 콘솔에 입력하여 최적해 풀이의 상태정보를 출력한다. 만약 0이 나오면 풀이가 성공한 것이고, 해가 없을 경우에는 2라는 값을 출력한다.

```
print(optimum$status)
```

다음으로 해를 출력하는 명령어는 다음과 같다.

```
print(optimum$solution)
```

마지막으로, 목적함수의 값을 다음과 같은 명령어로 출력한다.

```
print(optimum$objval)
```

세가지 풀이결과를 직접 콘솔에 입력하여 도출된 결과는 <그림 2-7>과 같다.

```

Console  Terminal  Jobs
~/
+         const.dir = RHS,
+         const.rhs = B,
+         all.int = T)
>
> print(optimum$status)
[1] 0
> best_sol <- optimum$solution
> print(best_sol)
[1] 12 12 0 30
> print(optimum$objval)
[1] 54
>
  
```

<그림 2-7> 무인기 모형의 해

해가 12, 12, 0, 30 으로 도출되었음을 확인할 수 있다. 이는 시간대별로 임무를 시작하는 무인기의 대수를 의미하며 총 54(=12+12+30)대의 무인기를 필요로 함을 확인할 수 있다. <표 2-2>의 임의의 해였던 63대에 비해 9대의 무인기를 절약하여 모든 제약조건을 만족하는 해이다. 이는 곧 최적의 목적함수 값이다. 여기서 중요한 점은 54대보다 더 적은 수로 시간대별 필요한 무인기 조건을 만족하는 다른 해가 없다는 점이다. 이처럼, 최적화 모형은 가장 정확한 해를 제공한다.

2.2.2. Case 2 : 적지중심부대의 휴대물품 편성

문제를 다음과 같이 정의한다.

육군 ○여단은 적지중심에서 임무를 수행하는 부대의 휴대물품을 편성하고자 한다. 각 물품(아이템)은 각각의 가치를 가지고 있으며, 다른 무게를 가지고 있다. 각 아이템의 가치와 무게를 나타낸 표는 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 아이템의 가치와 무게

구분	물품1	물품2	물품3	물품4
가치	110	80	50	80
무게(kg)	3.4	1.2	0.8	0.2
구분	물품5	물품6	물품7	물품8
가치	20	75	105	5
무게(kg)	2.8	1.8	3.0	1.7
구분	물품9	물품10	물품11	
가치	78	67	81	
무게(kg)	0.5	2.6	2.8	

적지중심작전부대는 장시간 기동을 요하기 때문에 휴대물품을 무한정으로 가져갈 수가 없다. 팀이 가져갈 수 있는 무게의 한계를 5kg 로 가정한다. 이러한 상황에서 가치를 최대화 할 수 있는 물품 편성안은 무엇일까?

여기서 먼저 물품의 가치는 주어진 값으로 파라미터이다. 이러한 파라미터는 정량적인 방법 또는 정성적인 방법으로 주어질 수 있는데, 최적화 모형을 구성할 때는 파라미터 값은 주어진(given) 값으로 가정한다. 이 문제를 해결하기 위해서, 만약 가용시간이 충분하다면, 여러 가지 경우의 수를 대입해 보며 5kg을 초과하지 않는 물품의 그룹을 선정한 후 가장 높은 가치를 가지는 편성안을 도출할 수 있다. 하지만, 만약 가용시간이 충분하지 않거나 또는 물품의 수가 많은 경우에는 모형을 구성하여 풀이할 수 밖에 없다. 이 문제를 해결하기 위한 최적화 모형은 다음과 같이 구성할 수 있다.

먼저, 결정변수를 다음과 같이 정의한다.

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{만약 아이템 } i \text{를 휴대하면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이렇게 결정변수가 0 또는 1의 값만 가지는 경우 이를 이진변수(binary variable)이라고

부른다. 만약, 1번 물품을 가져갈 경우에는 $x_1 = 1$ 이 될 것이고, 10번 물품을 가져가지 않는 경우에는 $x_{10} = 0$ 과 같이 결정변수가 값을 가지게 된다. 다음으로 목적함수와 제약식을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \max. \quad & 110x_1 + 80x_2 + 50x_3 + 80x_4 + 20x_5 + 75x_6 + 105x_7 + 5x_8 + 78x_9 + 67x_{10} + 81x_{11} \\ \text{s.t.} \quad & 3.4x_1 + 1.2x_2 + 0.8x_3 + 0.2x_4 + 2.8x_5 + 1.8x_6 + 3.0x_7 + 1.7x_8 + 0.5x_9 + 2.6x_{10} + 2.8x_{11} \leq 5 \end{aligned}$$

〈그림 2-8〉 적지중심작전부대 휴대물품 편성을 위한 최적화 모형

이 문제의 목적은 가치를 최대로 하는 물품을 편성하는 것이기 때문에 〈그림 2-8〉에서 보는 것처럼 각 물품의 가치와 결정변수를 곱하고 이 값들을 더하는 목적함수가 만들어진 다. 예를 들어, 만약 1번 물품, 5번 물품을 가져가게 된다면 $x_1 = 1, x_5 = 1$ 이고, 다른 모든 물품은 가져가지 않기 때문에 결정변수가 0의 값을 가지게 된다. 이 경우, 목적함수, 즉 가치의 총합은 $110 + 20 = 130$ 이다. 제약식은 가져가는 물품의 무게의 합이 5kg를 넘지 않아야 한다는 것이며 이는 〈그림 2-8〉의 두 번째 줄에 표현되어 있다. 만약 1번과 5번 물품을 가져가게 되면 무게는 $3.4 + 2.8 = 6.2$ kg 으로 제약식을 만족하지 않게 된다. 이렇게 제약식을 만족하지 않는 해는(Infeasible Solution) 최적해가 될 수 없다. 이 문제는 Knapsack Problem(배낭문제)라고 불리는 가장 유명한 최적화 문제 중 하나이다. 배낭문제는 비록 제약식이 한 개 밖에 없지만 풀기 어려운 문제로 알려져 있다. 이제 이 문제를 R 코딩을 통해 해결한다.

```
require(lpSolve)
C <- c(110,80,50,80,20,75,105,5,78,67,81)
A <- matrix( c(3.4,1.2,0.8,0.2,2.8,1.8,
3.0,1.7,0.5,2.6,2.8), nrow=1, byrow=TRUE)
B <- c(5)
RHS <- c("<=")
optimum <- lp(direction="max",
               objective.in = C,
               const.mat = A,
               const.dir = RHS,
               const.rhs = B,
               all.bin = T)
```

소스코드는 위와 같다. 앞 서 무인기 문제에서 설명한 부분에 대해서는 다시 설명하지 않는다. 먼저, 목적함수를 정의하기 위해 필요한 벡터 C는 총 11개의 원소를 가지는 벡터로 정의됨을 확인할 수 있다. 여기서 C는 각 물품의 가치를 의미한다. 제약식을 정의하는 A 행렬도 11개의 값을 가지는 하나의 행으로 구성되는데 이는 제약식이 하나이기 때문이다. 제약식의 개수를 정의하기 위해 nrow=1을 정의한 것을 살펴볼 수 있다. B는 제약식의 우변으로서 5kg을 초과하지 않아야 하기 때문에 5를 원소로 가지는 벡터로 정의되었다. 마지막으로, 제약식의 관계인 작거나 같다를 "<="로 정의한다. 앞 서 문제와 다르게 본 문제에서는 all.bin = T가 표기된 것을 살펴볼 수 있는데 이는 모든 결정변수가 이진 변수임을 의미한다. 이제, 최적화 모형의 구성과 풀이가 완료되었기 때문에 다음의 3가지 명령어를 통해 해답을 확인할 수 있다.

```
> print(optimu$status)
[1] 0
> best_sol <- optimu$solution
> print(best_sol)
[1] 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0
> print(optimu$objval)
[1] 363
```

〈그림 2-9〉 적지중심작전부대 휴대물품 편성 최적해

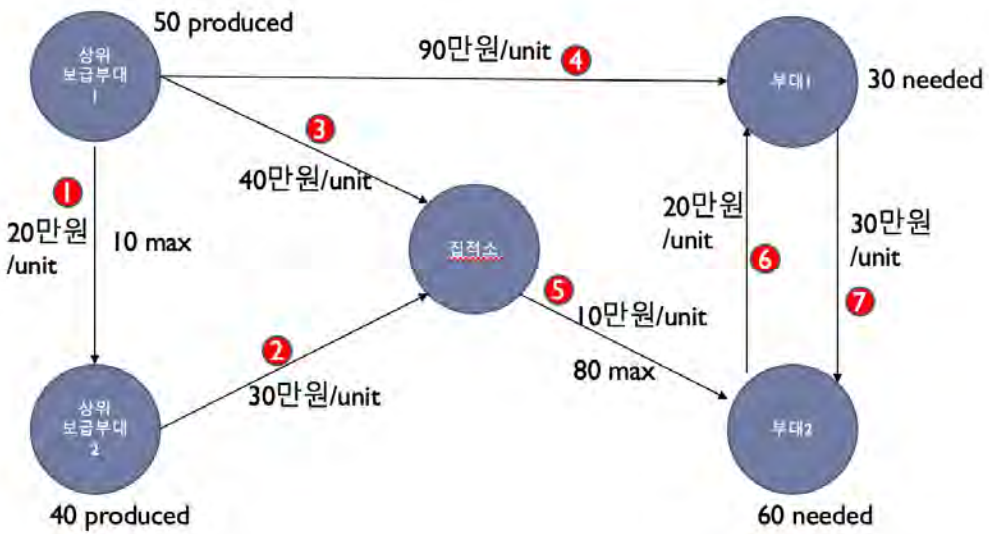
Status가 0이라는 것은 문제가 성공적으로 풀렸음을 의미한다. 최적의 해는 11개의 이진 변수의 나열로 표현되었는데 1의 값을 가지는 위치를 확인해 보면 2번, 3번, 4번, 6번, 9번 물품이 선택되었음을 알 수 있다. 이때, 최적 목적함수 값은 363이다. 이 문제의 풀이는 1s 도 안되는 시간에 가능하며, 가장 정확한 값인 363보다 더 좋은 해는 존재하지 않는다.

2.2.3. Case 3 : 보급수송문제

문제를 다음과 같이 정의한다.

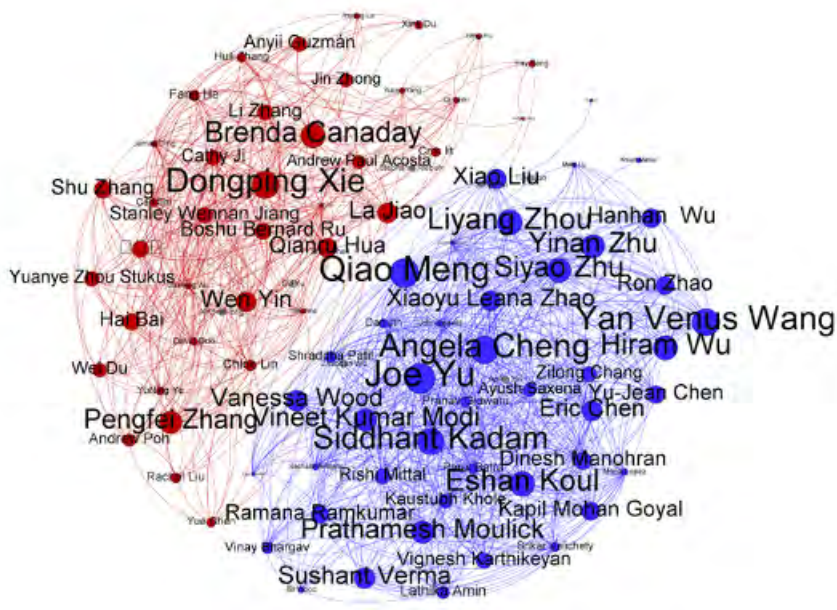
문제의 정의를 위해 〈그림 2-10〉을 참조한다. 부대1과 부대2는 작전지역에 전개해 있다. 부대1은 30 단위의 보급물품을 필요로 하고, 부대 2는 60단위의 보급물품을 필요로 한다. 그림의 좌측에 그려진 상위 보급부대 1은 총 50단위의 물품을 생산할 수 있다. 상위 보급부대 2는 총 40단위의 물품을 생산할 수 있다. 그림 가운데에 위치한 집적소는 물품을 생산하거나 또는 필요로 하지 않는다. 하지만, 물품이 들어오고 나갈 수 있는 곳이다. 각 시설에서 다른 시설로 보내는데 필요한 비용이 그림에 명시되어 있다. 예를 들어, 상위 보급부대 1에

서 상위 보급부대 2로 물건을 보내는 비용은 단위 물품당 20만원이다. 또 다른 예로 집적소에서 부대2로 물품을 보내는 비용은 단위 물품당 10만원임을 확인할 수 있다. 시설과 시설 사이에 화살표가 없는 곳은 물품을 주고 받을 수 없는 곳이다. 예를 들어, 집적소에서 부대 1로는 물품을 보내거나 받을 수 없다. 마지막으로, 보내거나 받을 수 있는 물건의 한계량이 존재하는 곳이 있는데, 집적소에서 부대2로는 최대 80단위의 물건만 보낼 수 있음을 그림을 통해 확인할 수 있다. 이러한 조건에서 부대1과 부대2의 필요량을 만족시키면서 최소한의 비용을 만들어 내는 보급수송계획을 수립한다.



〈그림 2-10〉 보급수송문제 네트워크

이 문제를 최적화 모형으로 표현하기에 앞서, 〈그림 2-10〉과 같은 구조를 네트워크(network) 또는 그래프(graph)라고 부른다. 그래프는 상위 보급부대 또는 집적소와 같은 노드(Node)와 그들을 연결하고 있는 간선(edge 또는 arc)으로 구성되어 있다. 〈그림 2-10〉의 네트워크는 총 5개의 노드와 7개의 간선으로 구성되어 있다. 네트워크는 현실의 복잡한 현상을 추상화 하여 표현하는데 적합하여 통신 네트워크 모델링, 도로망 등 교통시설의 표현 등 뿐 아니라 〈그림 2-11〉에서 보는 것처럼 사람과 사람간의 관계, 사건과 사건과의 관계 등 추상적인 관계를 표현하는데도 많이 활용된다.



〈그림 2-11〉 SNS 관계를 네트워크로 표현한 모습

다시 우리의 문제로 돌아와 결정변수를 다음과 같이 정의한다.

$$x_i : i \text{ 번째 간선에서의 물품의 이동량}$$

예를 들어, $x_1 = 50$ 은 〈그림 2-10〉의 1번으로 표기된(상위 보급부대 1과 상위 보급부대 2를 연결하는 선) 간선에서 50 단위의 보급품이 이동함을 의미한다. 이렇게 총 7개의 결정변수를 정의할 수 있다. 이때, 결정변수는 실수일수 있고(물품량이 30.5와 같이 정의될 수 있다고 볼 경우) 또는 정수일 수 있다. 다음으로, 목적함수를 정의한다. 본 문제는 비용을 최소화 하는 수송계획을 수립하는 것이기 때문에 당연히 목적함수는 각 간선의 소요 비용과 물품의 양을 곱한 수의 합으로 정의할 수 있다.

$$\text{목적함수} : 20x_1 + 30x_2 + 40x_3 + 90x_4 + 10x_5 + 20x_6 + 30x_7$$

예를 들어, $x_1 = 50$ 의 경우 상위 보급부대 1에서 상위 보급부대 2로 수송하는데 발생하는 비용은 $50 * 20 = 100$ 으로 계산할 수 있다.

다음으로 문제의 제약식을 구성한다. 대부분의 네트워크 문제의 제약식은 일정한 규칙을 가지고 있는데 이를 수식이 아닌 말로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{들어오는 양의 합} = \text{나가는 양의 합}$$

위 규칙은 Flow-Conservative 규칙이라고도 불리는데, 객체의 이동 간에 손실이 없다고 가정한다면 당연히 들어오는 만큼 나가야 함을 의미한다. 우리의 문제에서 이 규칙이 적용되는 노드는 집적소이다. 집적소는 물건을 생산하지도 않고 물건을 저장하지도 않기 때문이다. 따라서 집적소에 대한 제약식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{집적소에 대한 제약식 : } x_3 + x_2 = x_5$$

이를 해석하자면, 집적소로 들어오는 물건은 상위 보급부대 1에서 오든지 또는 상위 보급부대 2에서 오기 때문에 이 둘을 합한 값이 (식의 좌변) 집적소에서 나가는 물건의 합 (식의 우변)과 같아야 한다는 것이다.

집적소와 다르게 상위 보급부대 1, 2의 제약식은 물건의 생산을 고려해야 한다. 즉, 생산한 물건의 양과 다른 노드에서 들어온 물건의 양의 합이 그 노드에서 다른 곳으로 이동하는 물건의 양과 같아야 한다는 규칙이 적용된다. 마찬가지로, 물건을 저장하는 부대 1과 부대 2는 노드로 들어오는 물건의 합과 그 노드에서 나가는 물건과 내가 저장해야 하는 물건의 합이 같아야 한다. 엄밀하게는, 생산노드 그리고 저장 노드 모두 동일한 규칙이 적용된다고 할 수 있다.

$$\text{부대1에 대한 제약식 : } x_4 + x_6 = x_7 + 30$$

마지막으로, 간선 자체의 제약(capacity)에 대한 정의이다. 앞 서 정의한 바와 같이, 집적소에서 부대 2로는 최대 80 단위의 물건만 보낼 수 있다. 이를 제약식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{간선에 대한 제약식 : } x_5 \leq 80$$

지금까지 논의한 목적함수 그리고 제약식을 모두 표현한 최적화 모형은 다음과 같다.

$$\min \quad 20x_1 + 30x_2 + 40x_3 + 90x_4 + 10x_5 + 20x_6 + 30x_7 \quad (2-9)$$

$$\text{s.t.} \quad x_1 + x_3 + x_4 = 50 \quad (2-10)$$

$$-x_1 + x_2 = 40 \quad (2-11)$$

$$-x_3 - x_2 + x_5 = 0 \quad (2-12)$$

$$x_4 + x_6 - x_7 = 30 \quad (2-13)$$

$$x_5 + x_7 - x_6 = 60 \quad (2-14)$$

$$x_1 \leq 10 \quad (2-15)$$

$$x_5 \leq 80 \quad (2-16)$$

이제, 이 문제를 R을 활용하여 풀어보도록 한다. 이 문제는 제약식의 개수만 많이 증가했을 뿐 기본적인 구성은 이전의 문제들과 다르지 않다. R 코드는 다음과 같이 표현된다.

```
require(lpSolve)
C <- c(20,30,40,90,10,20,30)
A <- matrix( c(1, 0, 1, 1, 0, 0, 0,
              -1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,
              0, -1, -1, 0, 1, 0, 0,
              0, 0, 0, 1, 0, 1, -1,
              0, 0, 0, 0, 1, -1, 1,
              1, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
              0, 0, 0, 0, 1, 0, 0),nrow=7, byrow=TRUE)
B <- c(50,40,0,30,60,10,80)
RHS <- c("=", "=", "=", "=", "=", "<=", "<=")
optimum <- lp(direction="min",
              objective.in = C,
              const.mat = A,
              const.dir = RHS,
              const.rhs = B,
              all.int = F)

print(optimum$status)
print(optimum$solution)
print(optimum$objval)
```

위 코딩에서는 all.int = F에서 보는 것처럼 결정변수를 실수로 정의한 것을 확인할 수 있다. 이 문제를 푼 결과는 다음과 같다.

```
> print(optimum$status)
[1] 0
> print(optimum$solution)
[1] 0 40 40 10 80 20 0
> print(optimum$objval)
[1] 4900
```

〈그림 2-12〉 보급수송문제 네트워크의 해

먼저, Status가 0으로 정상적으로 최적의 해를 도출했음을 확인할 수 있다. 두 번째로 최적해가 다음과 같이 도출됨을 보여준다.

상위 보급부대 1에서 상위 보급부대 2로 : 0 (unit)

상위 보급부대 2에서 집적소로 : 40 (unit)

상위 보급부대 1에서 집적소로 : 40 (unit)

상위 보급부대 1에서 부대1로 : 10 (unit)

집적소에서 부대 2로 : 80 (unit)

부대 2에서 부대 1로 : 20 (unit)

부대 1에서 부대 2로 : 0 (unit)

이 해는, 다시 강조하는 바와 같이, 최적의 해로 가장 좋은 수송계획을 나열하고 있다. 총 비용은 4900으로 도출되었다.

만약, 간선의 비용이 변화하거나 또는 각 간선의 최대량이 변화하는 등 파라미터 값의 변화가 있거나 네트워크의 구성 자체가 변할 수도 있는데, 최적화 모형은 빠른 수정을 통해 새로운 최적해를 도출할 수 있기 때문에 지속적으로 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 예를 들어, 만약 간선 5번의 사용이 어려워진 경우 네트워크를 새로 그리지 않더라도 다음과 같은 제약식의 추가를 통해 새로운 해를 도출할 수 있다.

$$x_5 \leq 0$$

이 식이 의미하는 바는 5번 간선의 해를 임의로 0으로 부여하여 사용하지 않게 된다는 현실의 조건을 수식화 하여 표현하는 것이기 때문이다.

지금까지 본 절에서는 최적화 모형을 직접 구성하고 풀이하는 방법에 대해 설명하였다. 드론의 정찰 문제, 적지중심작전 부대의 물품 편성문제, 그리고 수송문제를 살펴보았는데 최적화 방법론을 통해 풀 수 있는 사업관리 전반에 걸친 문제들은 매우 다양하고 광범위하다. 활용가능한 문제의 예시는 다음과 같다(조남석, 2017).

〈표 2-4〉 최적화 방법론으로 풀 수 있는 국방사업관리의 문제들 (조남석, 2017)

문제	최적화 모형
전투효과를 최대화 하는 전투기 무장 선택	Knapsack Problem
거리(비용)를 최소화하는 전투근무자원계획	Shortest Path Problem
적의 이동시간을 최대화 하는 장애물 및 화력 계획	Longest Path Problem
비용을 최소로 하는 보급로 판단	Travel Salesman Problem
가용자원 내 피해를 최대화 하는 화력계획 수립	Knapsack Problem
요양효과를 최대화 하는 전투부대별 화력지원부대 판단	Matching Problem
비용을 최소화하는 전투부대 별 정비시설 할당	Facility Location Problem
레이더 할당 문제 / 미사일 배치 문제	Set Covering Problem
조종사이 임무 스케줄링	Set Partitioning Problem
화생방 불발탄 처리 부대의 편성 및 배치	Mixed Integer Nonlinear Problem
국가핵심시설 재건 문제	
주요지역 방호를 최대화하는 KAMD 배치	
구성원의 만족도를 최대로 하는 당직근무 편성	Set Partitioning Problem

표에서 제시된 문제와 오른쪽에 표기한 최적화 모형은 그 문제를 풀기 위한 유일한 방법도 아니고 또 가장 효율적인 방법이 아닐 수도 있다. 하지만, 제시한 최적화 모형은 ‘well-solved problem’이라고 하여 이미 많은 연구자들에 의해 푸는 방법이 잘 알려져 있고 또 해(solution)에 대한 검증(validation)도 많이 이루어져 있는 것들이다. 하지만, 현장에서 발생하는 대부분의 문제는 현장의 ‘특성’을 가지고 있기 때문에, 이미 잘 알려진 모형을 그대로 활용하는 것은 어려울 수 있다. 이 경우 새롭게 발생한 현장의 특성을 수학적식으로 구현하여 기존 모델에 적용해야 한다. 따라서, 국방사업관리 정책 의사결정에서 최적화 방법론을 활용하기 위해서는 일반적인 최적화 모형에 대한 이해와 더불어 새롭게 발생하는 요구사항을 수학적으로 표현하는 방법 또한 알아야 한다.

2.3. 소결론

본 장에서는 국방사업관리 현장에서 나타나는 다양한 문제를 해결할 수 있는 다양한 방법론 중 최적화 방법론에 대해 논의하였다. 최적화 방법론은 가장 좋은 해를 제공할 수 있고, 수학적식의 관계에 의해 답이 도출되어 정확한 방안을 제시할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 최적화 모형은 수학적식으로 구성되어 있기 때문에 모형을 구성하는데 어려움이 있고 구성된 모델을 풀이하는데도 어려움이 따른다.

본 보고서에서는 사업관리 현장의 실무자들이 직접 최적화 모형을 구성해 보고 또 답을 도출해 볼 수 있도록 최적화 이론의 소개와 대표적인 사례를 소개하였고 직접 R 코딩을 통해 이를 풀어보고 해를 도출할 수 있는 방법에 대해 구체적으로 설명하였다.

다만, 본 보고서에서 다룬 모든 최적화 모형은 선형(Linear Programing) 모형이라는 한계점을 가진다. 선형 모델은 결정변수의 곱, 나누기, 제곱 등과 같은 비선형(Non-linear)한 계산을 포함하고 있지 않다. 하지만, 현실의 문제를 모델링 하다 보면 많은 경우 비선형성을 포함하지 않고 표현하기 어려운 경우가 많이 발생한다. 이런 경우에는 본 장에서 논의한 R의 lpSolve 패키지를 사용하는 것은 제한된다. 이런 경우에는, R 프로그램의 다른 최적화 패키지 또는 GAMS 와 같은 최적화 전용 툴을 사용해야 한다. 이에 대한 연구를 차후 연구로 제안한다.

Ⅲ. 국방사업관리에 필요한 확률적 현상 분석 방법 : R을 활용한 마코비안 모형 구축/분석

3.1. 사업관리와 확률모형

(1) 확률적 현상과 사업관리

경제 발전과 국방예산의 증가, 첨단무기체계 도입으로 인한 국방 사업(Project) 규모의 비약적 증가는 사업을 다양한 위험에 노출시키고 있다. 단적인 예로 사업 규모의 확대는 사업 참여자들의 수적 증가와 더불어 이해관계를 복잡하게 만들어, 사업이 돌발적 요인으로 인해서 지체되거나 목표 달성을 저해하는 요소들이 과거에 비해 상대적으로 많이 발생할 개연성이 커졌다.

돌발적 요인으로 인한 사업 지체나 목표 달성의 어려움인 ‘사업위험’을 관리하는 위험관리(Risk Management)가 사업관리의 중요한 분야로 자리잡은 것은 돌발적 요소를 관리하는 것의 중요성을 보여주는 직접적인 사례이다. 이런 상황을 고려할 때, 돌발적 위험을 다루는 방법을 이해하고 이를 사업관리에 적용하는 것은 사업관리를 수행하는 사람들의 필수 역량이 되었다고 할 수 있다.

돌발적 상황이나 우연한 사건을 다루는 효과적인 방법론 중 하나가 확률모형(Stochastic

Model)이다.³⁾ 확률모형은 확률적 현상을 묘사할 수 있는 모형을 만들고 이를 통해 미래를 예측하는 방법론이다. 확률모형은 경영, 경제, 물리 등 계량적 분석(Quantitative Analysis)을 수행하는 거의 모든 분야에서 사용되는 방법론이다. 분야의 다양성만큼이나 방법론도 다양하지만, 여기에서는 개념과 방법론 활용이 쉽고 응용가능성이 높은 마코비안 모형(Markovian Model)을 활용하여 확률적 현상을 분석하는 방법을 소개한다.

(2) 사업관리 분석 사례

유명한 물리학자인 파인만 교수는 강의실 칠판에 ‘내가 만들 수 없는 것은 이해할 수 없다’라는 문구를 쓰는 것을 좋아했다. 여러 해석이 가능하겠지만 어떤 것을 이해하는 가장 좋은 방법은 직접 경험해 보는 것이라고 해석하는 것이 파인만 교수의 의도에 가장 가까워 보인다. 방법론과 개념을 이해할 때도 마찬가지이다. 방법론을 사례에 직접 적용해보는 것이 이해의 지름길이다. 이를 위해 우선 앞으로 다룰 두 가지 분석 사례를 먼저 살펴보자.

사례 1:

장비의 가동율(Operating Ratio)과 관련한 문제이다. 가동율은 장비를 정비나 수리시간을 제외하고 실제로 사용한 시간의 비율을 나타내는 척도이다. 가동율은 장비의 활용도를 파악할 수 있으므로 사업의 성과를 파악하기 위해서 활용하는 중요한 척도 중 하나이다. 다음과 같은 상황에서 가동율을 결정해야 하는 경우를 가정해 보자. 장비가 운행중일 때 평균 3일에 한번씩 고장이 난다. 고장난 장비는 수리를 하는데, 수리시간은 평균 이틀이 소요되고 수리 후에는 바로 운영을 재개한다. 이 장비의 가동율은 얼마인가? 3일 운행하고 이를 수리하는 방식이 계속 반복된다면 가동율을 60%가 되지만 문제는 평균적으로 그렇다는 것이 아니라 실제로는 운행한지 하루만에 고장이 나는 경우도 있고 수리시간이 열흘이 걸릴 수도 있다. 이런 확률적인 상황에서 가동율을 파악하는 것이 우리가 다루고자 하는 문제이다.

사례 2:

장비의 신뢰도(Reliability)를 파악하는 문제이다. 신뢰도는 장비 성능을 결정하는 기본적인 척도이다. 돌발적인 상황에 대응하는 국방분야의 특성으로 인해 신뢰도의 중요성이 다른 분야에 비해서 상대적으로 높다. 영원히 고장나지 않는 장비나 시점을 맞추어 고장나는 장

3) 확률모형은 확률적 현상을 이해하고 분석하기 위한 모형이다. 확률은 Probability이지만 확률모형은 Stochastic Model이라는 명칭을 사용한다. 일부 연구자들은 Stochastic 대신 Probabilistic Model이라고 표현하기도 하지만 확률모형을 Stochastic Model로 표현하는 것이 이 분야의 오랜 관례이다.

비는 없기 때문에 신뢰도는 본질적으로 확률적 속성을 가진다. 3시간 사용하면 반드시 고장나는 장비가 있다면 이 장비는 2시간 59분 59초를 사용한 후에 교체하면 되므로 주기적인 교체만 하면 복잡한 분석이 필요없다. 그러나 고장은 돌발적으로 일어나므로 분석의 필요성이 생기고 신뢰도가 중요한 분석대상이 된다. 어떤 장비의 중요 부품이 고장에 대비하기 위해 3중으로 설계되어 있다고 가정해 보자. 3중으로 설계되었다는 것은 하나의 부품이 고장나면 두 번째 부품이 기능을 하고 두 번째 부품이 고장나면 마지막 부품이 작동하고, 마지막 부품이 고장나면 장비가 멈추는(고장) 방식으로 구성되었다는 의미이다. 각 부품의 수명이 평균 10일이면 이 장비의 수명은 얼마인가? 이 질문을 약간 수정하면 이 장비가 한달동안 멈추지 않을 가능성은 얼마인가? 이 사례에서도 10일 동안은 부품이 절대 고장나지 않고 10일이 되면 반드시 고장나는 상황이라면 이 장비는 30일 동안 사용할 수 있다는 결론을 낼 수 있다. 이런 부품들로 구성되어 있는, 확정적(Deterministic) 상황이라면 분석이 필요 없겠지만 현실은 하루만에 세 개의 부품 모두가 고장나는 상황부터 1년이 지나도 하나의 부품도 고장나지 않는 상황까지 다양한 스펙트럼의 현상이 나타날 수 있다.

이상의 두 사례와 같이 확정적 현상(Deterministic Phenomena)이 아니라 확률적 현상(Stochastic Phenomena)을 묘사하고 분석하는 것이 우리가 다루고자 하는 방법론이다. 이 방법론은 앞서 언급했듯이 확률모형을 활용해야 하며, 여기에서는 마코비안 모형(Markovian Model)을 활용할 것이다.

(3) 마코비안 모형⁴⁾

마코프 체인(Markov Chain)의 개념을 활용하는 마코비안 모형⁵⁾은 전투모형과 군수 성과 등 국방분야의 다양한 현상을 분석할 수 있는 기법이다. 마코프 체인은 러시아 수학자 마코프(Markov)가 푸쉬킨 시의 운율을 분석하기 위해 개발했다. 그 후 다양한 사람들이 이론적 틀 정립에 기여했다. 마코프 체인에 대한 개념과 일반적 응용 분야는 Ross(2019)에 상세히 기술되어 있으며, 수학적 엄밀성을 더한 마코프 체인의 이론적 논의는 Ross(1996)에 잘 제

4) 이 내용은 마코비안 모형의 응용 가능성을 제시하기 위한 것이므로 방법론 이해에 직접적으로 연관이 되지 않으므로 실무자들은 가볍게 읽고 지나가도 이후 내용을 이해하는데 큰 무리가 없다. 다만, 마코비안 모형을 활용해서 추가적인 연구를 하려는 연구자들은 여기에 소개된 연구와 그 안의 참고문헌들이 향후 연구에 도움을 줄 수 있다.

5) 마코비안 모형은 마코프 체인을 기반으로 한 모델링 기법이다. 마코비안 모형은 다양한 방법론과 기법이 있지만, 기본 방법론은 마코프 체인이다. 본 연구에서는 기본적인 마코프 체인의 개념을 활용하며 모형을 만들고 분석하므로 마코비안 모형과 마코프 체인을 같은 의미로 사용한다. 그러나 원래 마코비안 모형은 다양한 분석 모형을, 마코프 체인은 마코비안 모형의 핵심 방법론을 의미한다는 것이 정확한 표현이다. oo자동차 엔진을 장착한 다양한 차종이 있듯이 마코프 체인을 활용한 다양한 마코비안 모형이 있다.

시되어 있다. 최근에는 4차 산업혁명의 성과인 연산 비용과 시간의 비약적 감소를 활용하여 알고리즘 기반의 계산적 접근법(Computational Approach)이 주목받고 있으며, 이에 대한 이론적 토대는 Neuts(1981, 1989)에 의해 행렬기하법(Matrix Geometric Method)이라는 이름으로 소개되었다. 이후 Latouche & Ramaswami(1999)는 행렬기하법을 알고리즘적 접근법에 초점을 맞추어 마코비안 모형을 분석하는 방법으로 소개했으며, 이를 활용한 다양한 연구가 대규모 계산을 수행하는 알고리즘에 기초한 계산적 접근법으로 수행되었다. 사업 관리에 활용도가 높은 신뢰도와 재고관리 분야에 마코프 체인을 활용한 다양한 연구는 신뢰도 분석 분야는 Koutras (1996), Boutsikas & Koutras(2000)에 재고관리 분야는 Choi et al.(2019)에 상세히 소개되어 있으므로 참고하기 바란다. 결론적으로 마코비안 모형은 응용가능성이 높고 계산적 접근법을 취하므로 실무에서 활용하기가 쉬운 방법이다.

마코비안 모형의 국방분야 응용사례는 윤봉규(2009, 2010)에 제시되어 있으며, 김경민&윤봉규(2019), 조승현&윤봉규(2019), 손영수 외(2014), 김각규 외(2013)는 사업관리 분야에 초점을 맞춘 문제에 마코비안 모형을 활용하여 분석을 수행하였다. 국방분야에서 나타나는 다양한 확률적 현상을 분석하기 위해 마코비안 모형을 응용한 다양한 연구들이 존재하지만, 기존의 연구들은 해결하고자 하는 문제에 따라서 상이한 접근법을 사용하고 있다. 또한 분석을 위해 사용한 분석 도구가 Matlab, Python, Vensim과 같이 표준화 되어 있지 않아 해당 분석 기법을 활용하기 위해서는 각각의 분석 도구에 대한 지식이 필요한 단점이 있다.

본 연구에서는 R로 분석 도구를 단일화하고 분석 방법에 관해서도 표준화된 함수를 제공하여 현장에서 활용할 수 있는 분석 방법을 제공하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 2장에서 확률모형을 이해하고 표현하기 위한 기초 개념을 살펴보고, 3장에서는 마코프 체인(마코비안 모형)의 개념과 분석 방법을 첫 번째 사례를 중심으로 살펴보고, 4장에서는 두 번째 사례를 중심으로 흡수마코프 체인(Absorbing Markov Chain)을 활용한 분석 기법을 살펴본다. 본 연구는 사업관리 실무자가 확률모형을 활용하여 문제를 분석/해결할 수 있도록 돕는 것이 목표이므로, 분석 도구인 R을 활용하여 각 단계에서 설명된 개념을 확인하고, 추후 분석에서 활용할 수 있는 명령어와 분석 알고리즘을 함께 제시한다.

3.2. 확률모형

(1) 확률모형이란?

우발적 사건에 영향을 받는 확률적 현상을 다루기 위해서는 이런 현상을 모형으로 만들고 이를 통해서 이해하는 것이 효율적이다. 복잡하고 이해하기 어려운 현상일수록 모형을 만들

어 이해하기는 것이 그 현상을 이해하기 쉽게 만든다. 장비의 고장 발생에 대해서 생각해 보자. 장비 고장이 불규칙하게 일어나고 있을 때, 그 원인을 파악하기 위해서 다양한 조사를 진행하고 있을 때, 무작위로 조사를 진행하는 것보다는 몇 가지 가정을 하고 이를 반영한 나름의 가설을 세우고 조사를 하는 것이 일을 효율적으로 하는 방법이다. 예를 들어 ‘비가 오면 장비 고장이 늘어나므로 날씨가 고장의 주요 원인이다’라는 생각을 가지고 조사를 한다면 조사의 범위와 시간/비용을 절약할 수 있다. 이 접근법은 가정이 맞는지 틀리는지 검증해서 수정이 가능하므로 점진적으로 고장원인에 접근할 수 있다는 추가적인 이점도 있다.

모형이라는 것은 어떤 현상을 이해하기 위한 가정과 가설을 포함한 ‘이해의 틀’이라고 할 수 있다. 이런 맥락에서 확률모형은 확률적 현상을 이해하기 위한 틀이다. 확률모형은 서술적 접근법이 아닌 수학적 접근법으로 구성되어 있다. ‘여러 사람이 함께 일하면 일이 줄어든다’라는 서술적 명제를 ‘ $10 / 5 = 2 < 10$ ’와 같이 수식으로 표현할 수 있듯이 근본적으로 서술적 접근법과 수리적 접근법은 동일하다. 다만 수리적 접근법이 효율적이어서 사용되고 있는 것이지 수리적 접근법 없이 확률모형을 구성할 수 없는 것은 아니다. 엑셀이 없는 시대에도 계산 자체를 못한 것은 아니듯이, 수학적 접근법이 확률모형의 전부는 아니다. 이 점을 언급하는 이유는 우리가 이해해야 하는 것이 수학 그 자체가 아니라 확률적 현상이므로 수학적 배경이 부족하다고 지레 겁을 먹거나 포기할 필요가 없다는 점을 강조하기 위해서이다.

확률모형은 확률적 현상을 다루기 위한 기본적인 수학적 개념인 확률변수(Random Variable), 확률분포(Probability Distribution)에 기초한다. 그리고, 그 현상을 요약하여 하나의 숫자로 표현하는 평균(Mean)과 분산(Variance)으로 구성된다.

이해를 돕기 위해서 가장 간단한 확률모형인 동전던지기를 예로 삼아 논의를 전개해 보자. 동전던지기는 간단해 보이지만, 거의 모든 확률적 현상을 유도할 수 있는 모형이다. 우리가 개별 세포로 이루어져 있듯이 확률적 현상은 동전던지기가 모여서 이루어진다고 할 수 있다. 실제 복잡한 위게임이나 시뮬레이션도 계속해서 파고 또 파고 들어가면 근본적인 확률적 현상은 동전던지기이다⁶⁾.

동전던지기는 성공과 실패로 이루어진 확률적 현상을 이해하기 위한 모형이다. 동전의 앞면이 나오는 것을 성공이라고 하고 뒷면이 나오는 것을 실패라고 한다면 동전을 계속해서 던질 경우, 총 던진 횟수에 비해 성공한 비율은 점점 0.5에 접근해 간다. 남아프리카공화국의 커릭(John Kerrich)이라는 사람은 실제로 전쟁포로로 잡혀 있으면서 이 실험을 3년에 걸쳐서 했으며, 그 결과 100번 때는 44번 10,000번 던졌을 때는 5,076번 앞면이 나오는 것을 확인했다 (Scheaffer et al., 2010). 시간과 비용을 고려할 때 이런 실험을 커릭처럼

6) 동전던지기는 베르누이시행(Bernoulli Trial)이라는 이름으로 불리며, 모든 확률/통계 교과서에 맨 처음 등장하는 확률모형이며, 이는 이해가 쉬워서이기도 하지만 근본적인 확률적 현상이기 때문이기도 하다.

직접 해볼 수는 없지만, R을 활용해서 쉽게 시뮬레이션으로 실험해 볼 수 있다. 이 실험을 하기 앞서 우선 확률적 현상을 표현하는 방식에 대해서 알아보자.

(2) 확률변수/확률분포

동전던지기의 앞면을 성공, 뒷면을 실패라고 정의하는 것은 서술적으로 동전던지기를 기술한 것이다. 이를 수학적으로 표현하기 위해서는 앞면을 1, 뒷면을 0이라는 숫자와 연관시키면 된다. 숫자로 표현하고 나면, 이제 동전던지기는 결과가 1 또는 0으로 나오는 모형이 된다. 이렇듯 사전에 정해지지 않고 상황에 따라서 변할 수 있는 수를 변수(Variable)라고 한다. 그런데, 변수가 무작위로(Random) 결정되므로 동전던지기의 결과로 나오는 숫자는 확률변수(Random Variable)라고 한다.⁷⁾ 한편, 동전던지기의 결과는 사건(Event)이라는 용어로 표현하기도 한다. 앞면이 나온 것은 성공 또는 1이 나온 사건이며, 뒷면이 나온 것은 실패 또는 0이 나온 사건이라고 하기도 한다.

동전던지기를 제대로 이해하기 위해서는 확률변수를 결정하는 방식인 확률에 대해서 알아야 한다. 즉, 변수값이 1이나 0이냐를 결정하는 메커니즘을 알아야 한다. 앞서 동전을 계속 던지면 앞면 즉, 1이 나오는 비율이 0.5에 가까워진다고 언급했다. 이렇게 오랫동안 반복했을 때 어떤 현상이 출현하는 비율을 확률이라고 한다. 이를 경험적인 확률이라고 하며, 이론적인 확률과 더불어 확률을 정의하는 두 가지 방식 중에 하나이다.⁸⁾ 이런 식의 결과값이 나오는 메커니즘으로 변수를 결정하면 이를 확률변수라고 한다.

확률변수를 표현하는 방식의 하나로 변수값과 각 변수값이 나오는 확률을 아래와 같이 표현한 확률분포표(Probability Distribution Table)가 있다.

〈표 3-1〉 동전던지기 확률분포표

확률변수	0	1
확률	0.5	0.5

확률분포표가 다양한 확률변수에 대한 확률값을 표의 형태로 정리한 것이라는 점에서 확률분포는 여러 확률변수에 대한 확률을 모아 둔 것이라고 이해하는 것이 자연스럽다. 정확

7) 무작위변수라고 하지 않고 확률변수라고 하는 것은 관행이다. 익숙해서 그렇기도 하겠지만 무작위변수보다는 확률변수가 어감이 훨씬 좋기도 하다.

8) 이론적 확률이라고 해서 어려운 개념은 아니다. 이론적 확률은 다음과 같은 세 개의 가정을 만족하는 규칙(함수)이다. 1) 반드시 일어나는 사건의 확률은 1, 2) 절대 일어나지 않는 사건의 확률은 0, 나머지는 그 사이의 값을 취하는 함수이다. 3) 동시에 일어날 수 없는 사건들을 합한 사건의 확률은 개별 사건들의 확률 합과 동일하다. 이를 확률의 공리(Axiom)라고 하며, 이를 만족하는 개념을 확률이라고 정의한다.

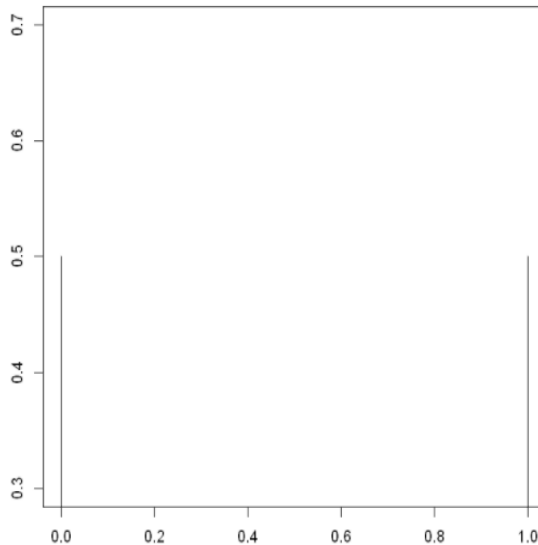
하계는 모든 가능한 확률변수 값에 대한 확률을 모은 것이 확률분포(Probability Distribution)이다.

확률변수가 취할 수 있는 값이 표로 나타내기에 너무 많은 경우 표로 나타내는 것보다 함수의 형태로 나타내는 것이 효율적이다. 따라서 확률변수를 표현하는 두 번째 방법으로 자연스러운 것이 확률분포함수(Probability Distribution Function)이다. 동전던지기를 묘사하는 확률분포함수는 다음과 같다.

$$p(x) = 0.5, x = 0, 1 \tag{3-1}$$

식 (3-1)은 <표 3-1>을 함수의 형태로 표현한 것에 불과하다. $p(x)$ 에 들어가는 x 값이 0, 1 밖에 없는 동전던지기의 경우에는 <표 3-1>과 식(3-1)이 동일하지만 변수가 취할 수 있는 값이 20~30개만 되어도 확률분포표보다는 함수가 편리하다는 것을 쉽게 이해할 수 있다.

확률변수에 대한 정보는 시각적 그래프 형태로 전달하는 것이 효율적인 방법이다. 사람의 뇌에서 시각 정보를 처리하는 뉴런이 나머지 모든 감각 처리 뉴런보다 많으며, 이런 이유로 시각 정보가 머리속에 더 오래 남는다. 따라서 데이터 (또는 자료) 시각화(Data Visualization)는 정보를 효율적으로 전달하는 방법으로 오랫동안 활용되어 왔다(윤봉규, 2021). <표 3-1>과 식(3-1)에 제시된 확률분포는 <그림 3-1>과 같이 그래프의 형태로 제시할 수 있다.



<그림 3-1> 동전던지기 확률분포 그래프

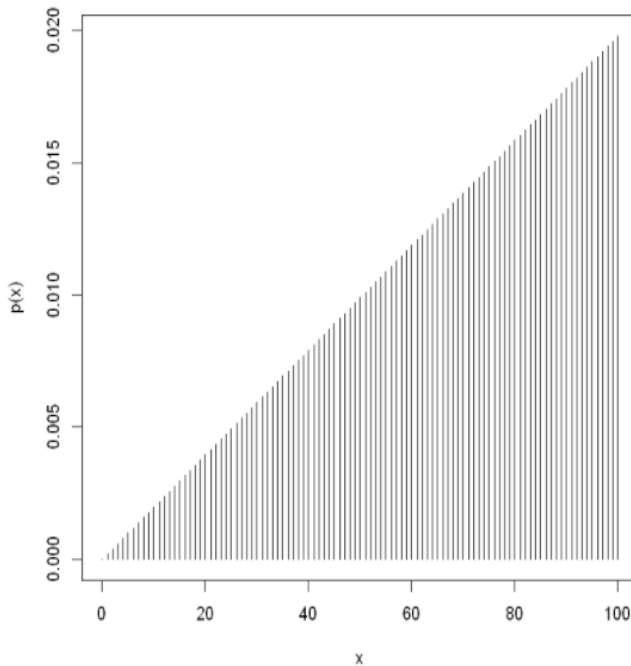
확률분포 그래프의 장점을 실감나게 보기 위해서 <표 3-2>와 식(3-2)를 각각 확률분포표와 함수로 가지는 확률변수를 고려해보자.

<표 3-2> 다양한 값을 가지는 확률변수의 확률분포표

확률변수	0	1	2	...	99	100
확률	0	0.000198	0.000396	...	0.019604	0.019802

$$p(x) = \frac{x}{5050}, x = 0, 1, 2, \dots, 100 . \quad (3-2)$$

이 확률변수의 확률분포 그래프는 <그림 3-3>과 같다. 그래프를 보면 확률변수값이 커지면 나타날 가능성(확률)도 커진다는 것을 쉽게 파악할 수 있다. 그리고 확률값이 커지는 정도가 일정하다는 점을 쉽게 파악할 수 있다. 물론 이런 사실은 식 (3-2)에서 제시된 일차함수의 특징이기도 하지만, 일차함수를 모르더라도 그래프를 보고 확률변수(분포)의 특징을 읽어낼 수 있다는 점에서 확률변수 그래프의 장점은 정보전달력에 있어서 우월하다.



<그림 3-2> 다양한 값을 가지는 확률변수의 확률분포 그래프

지금까지의 논의를 요약하면 다음과 같다. 확률모형이 확률적 현상을 묘사하는 방법이고, 확률모형은 확률변수와 확률분포로 구성되어 있다⁹⁾. 확률변수와 확률분포를 표현하는 방법은 표, 함수, 그래프 세 가지가 있다. 이를 기억하고, 이제 R로 확률적 현상을 표현하는 방법을 살펴보자.

(3) R을 활용한 동전던지기 시뮬레이션

R을 활용하여 동전 던지기를 하기 위해서는 R에서 확률변수를 다루는 방법을 이해해야 한다. R은 일명 'dpqr' 방법으로 확률변수를 다룬다. 'dpqr' 방법을 본격적으로 다루기 전에 동전던지기의 이름에 대해서 살펴보자.

동전던지기는 베르누이 시행(Bernoulli Trial)이고, 베르누이 시행은 이항분포를 따르는 확률변수이다. 동전던지기의 결과가 0 또는 1 두 개의 결과가 나오므로 '이항'이라는 용어를 사용한 것이다. 이항을 영어로 'binomial'이라고 한다. 따라서 동전던지기는 이항분포(Binomial Distribution) 또는 이항확률변수(Binomial Random Variable)라고 하며, R에서는 약자로 'binom'으로 표현한다.

이제 'dpqr'이 나올 차례이다. d는 개별확률(density), p는 누적확률(probability), q는 백분위수(quantile), r은 난수생성(random number generation)의 첫 글자이다. R에서는 'dpqr'과 확률분포명 'binom'을 조합해서 개별확률은 'dbinom', 누적확률은 'pbinom', 백분위는 'qbinom', 난수 생성은 'rbinom' 명령어를 사용한다. R에서는 모든 확률변수/분포에 이런 조합을 가지는 명령어를 사용한다. 정규분포(Normal Distribution)는 'dpqr'과 'norm'이라는 이름과 조합하여, 'dnorm, pnorm, qnorm, rnorm'을 확률분포와 관련된 명령어로 사용한다.

다시 동전던지기로 돌아오면, 동전던지기의 개별확률은 다음과 같은 R 명령어로 구할 수 있다.¹⁰⁾

> dbinom(0,1,1/2) (3-3)

이 명령어는 세 개의 입력값 0, 1, 1/2을 가진다. 첫 번째 입력값은 동전을 던져서 나온 결과이다. 0은 앞면이 0번 나온 것을 의미하며, 1을 입력하면 앞면이 1번 나온 것을 의미한다.

9) 확률변수는 확률분포와 동전의 양면같은 뿔 수 없는 관계이다. 지금까지 논의에서 확률변수와 확률변수가 정의할 때를 제외하고는 확률변수 자리에 확률분포라는 용어를 확률분포 자리에는 확률변수를 바꾸어 넣어도 문맥상 이상하지 않을 정도로 두 용어는 밀접하다.

10) ')' 표시 이후에 나오는 것은 R 명령어이다. R에서 명령 콘솔에 직접 명령어를 입력하는 경우 ')' 표시 다음에 입력하기 때문에 여기에서도 ')'를 R 명령어를 표현하기 위해서 사용한다.

다. 두 번째 입력값 1은 동전을 한 번 던지는 것을 의미한다. 만약 10번 동전을 던져서 한 번도 성공하지 못할 확률을 구할 때는 'dbinom(0,10,1/2)'을 실행해서 확률값 $0.0009765625(=\left(\frac{1}{2}\right)^{10})$ 을 구할 수 있다. 세 번째 입력값은 동전을 던져서 1(성공 또는 앞면)이 나올 확률이다. 동전을 던져서 앞면이 나올 확률이 당연히 1/2임에도 이를 입력하는 이유는 dbinom 함수를 다양한 상황에서 사용하기 위해서이다. 성공/실패를 묘사하는 이항 확률변수는 꼭 성공/실패 가능성이 같지 않더라도 사용할 수 있다. 예를 들어 검은공 1개, 흰공 2개가 섞여 있는 주머니에서 아무 공이나 하나 꺼낼 때 검은공이 나오는 것을 성공이라고 한다면 이 또한 이항확률변수이며, 동전던지기과 다른 점은 성공확률이 1/3이라는 점이다. 이런 다양한 상황을 묘사하기 위해서 'dbinom'은 세 번째 입력값을 가지고 있다.

'pbinom'은 누적확률(Cumulative Probability)을 구하는 명령어이다. 다음은 동전을 던져서 0이 나올 확률과 1이 나올 확률을 누적인 확률을 구하는 명령이고 실행 결과는 1이 된다.

> pbinom(1,1,1/2) (3-4)

'qbinom'은 확률에 해당하는 x값을 구하는 명령어이다. 다음은 동전을 던져서 나오는 값을 차례로 나열할 때 누적확률이 0.5가 나오는 확률변수의 값을 구하는 명령이고 그 결과는 0이 될 것이다.

> qbinom(0.5,1,1/2) (3-5)

동전을 10번 던져서 누적확률이 0.5가 되는 확률변수의 값은 'qbinom(0.5,10,1/2)'이고 R에서 이 명령을 입력하면 5라는 결과가 출력되는 것을 확인할 수 있다. 동전을 10번 던지면 앞면이 5번 이하가 나올 확률이 0.5라는 것을 이 명령이 보여준다. 'rbinom'은 동전던지기를 실제 수행하는 것이다. 난수를 생성한다는 것은 컴퓨터 시뮬레이션으로 확률적 현상을 재현하는 것이므로, 난수를 생성하는 명령어는 동전던지기를 시뮬레이션으로 수행하는 것과 동일하다.

> rbinom(5,1,1/2) (3-6)

식 (3-6)의 첫 번째 입력값은 동전던지기를 수행할 횟수이다. 5번을 반복해서 던졌으니

결과는 5개의 0, 1로 이루어진 숫자를 얻게 된다. 예를 들어 결과값이 '0 0 1 0 0'이 출력되면 5번 동전을 던져서 '뒷면, 뒷면, 앞면, 뒷면, 뒷면'이 나온 것이다.¹¹⁾

이제 동전던지기를 오랫동안 반복하는 경우 앞면이 나온 횟수가 0.5에 가까워지는지 R을 통해 확인해 보자. 우선 동전 던지기를 1000번 정도해서 'coin_1000'에 저장하자.

```
> coin_1000 = rbinom(1000,1,1/2) (3-7)
```

식 (3-7)은 동전던지기를 1000번 한 우변의 결과를 좌변의 'coin_1000'에 저장하라는 R 명령이다. 'coin_1000'에는 동전을 던진 결과가 0, 1의 형태로 1000개 들어 있다. 이제 앞면이 나온 비율을 구해보자. 'coin_1000'에 '0 1 1 0 1 1 ...'이 저장되어 있다고 가정하면, 이 결과는 동전을 던져서, '뒤 앞 앞 뒤 앞 앞 ...'이 나온 것이다. 이 결과에서 동전을 던질 때 앞면이 나온 비율은 '0/1 1/2 2/3 2/4 3/5 4/6 ...'이 된다. 분자에는 그때까지 1이 나온 횟수의 합이, 분모에는 동전을 던진 횟수를 넣어 계산하면 동전을 던져서 앞면이 나온 비율을 차례로 구할 수 있다. 이를 R에서 다음과 같이 수행할 수 있다.

```
> for(i in 1:1000){
  y[i] = sum(coin_1000[1:i])/i (3-8)
}
```

'for' 명령은 R에서 명령을 반복 수행한다. 'i'로 표시되는 첨자가 1에서부터 1000까지 하나씩 증가¹²⁾하면서 식 (3-8)에서 중괄호('{ }') 속에 있는 명령을 반복 수행한다. 식 (3-8)의 우변의 'sum(coin_1000[1:i])'은 coin_1000에 처음부터 i번째까지 저장된 숫자의 합을 구하는 명령어이다. 이를 i로 나눈 것은 그때까지 1이 나온 횟수의 합(sum(coin_1000[1:i]))을 동전을 던진 횟수(i)로 나눈 값이다. coin_1000[k]는 'coin_1000'에서 k번째 장소에 저장되어 있는 숫자를 불러오는 명령어이다. 'coin_1000[1]'은 동전던지기의 첫 번째 실행결과이고, 'coin_1000[3]'은 세 번째, 'coin_1000[1:3]'은 처음부터 세 번째까지 실행결과의 집합을 불러온다. 앞서의 예로 보면

11) R에서 'rbinom(5,1,1/2)'을 실행하면 그 결과가 매번 바뀐다. 동전을 5번 던지는 결과는 현실에서도 매번 다를 수 밖에 없으므로 이는 당연한 결과이다. 그러므로 이 명령을 실행하고 매번 다른 결과가 나오더라도 이상하게 여길 필요가 없다. 그러나 이 점이 분석을 어렵게 할 때도 있으므로 항상 동일한 난수를 생성하는 기능이 시뮬레이션을 수행할 수 있는 모든 패키지에 포함되어 있다. 이를 난수의 씨앗(Seed)를 고정한다고 하며, R에서는 'set.seed' 명령어를 사용한다. 'set.seed(100)'을 실행하고 'rbinom(5,1,1/2)'을 실행하면 항상 'rbinom(5,1,1/2)'의 첫 실행 결과는 '0 0 1 0 0'이 된다.

12) R에서 1:1000은 1에서 1000까지의 수를 표현한다. 1:3은 1,2,3을 2:5는 2,3,4,5를 나타낸다.

각각 '0', '1', '0 1 1'을 불러온다. 식 (3-8)의 좌변은 'y'라는 변수의 i번째 자리에 우변에서 계산한 값(동전을 i번 던질 때까지 앞면이 나타난 비율)을 저장하라는 명령어이다. 식 (3-8)은 '=' 대신 다음과 같이 '<'를 넣어도 동일한 명령어이다. '<'는 화살표처럼 보여 어디에 보내라는 의미를 명확히 나타낸다.

```
> for(i in 1:1000){
  y[i] <- sum(coin_1000[1:i])/i
}
```

(3-9)

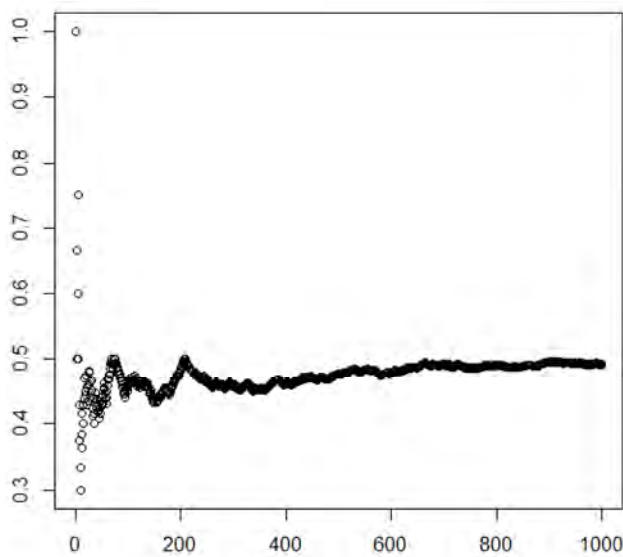
식 (3-7)을 실행한 후 (3-8)이나 (3-9)를 실행하면 오류가 난다. 그 이유는 'y'라는 변수를 찾을 수 없기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 'y'라는 변수를 사전에 정의해 두어야 한다. 'y'라는 변수가 있기만 하면 되므로 'y=0' 과 같이 정의만 해두면 오류를 해결할 수 있다. 결과적으로 다음 코드를 실행하면 R에서 동전던지기를 반복해서 수행하고 앞면이 나오는 비율이 어떻게 변화하는지 파악할 수 있다.

```
> coin_1000 = rbinom(1000,1,1/2)
x=1:1000
y=0
for(i in 1:1000){
  y[i] = sum(coin_1000[1:i])/i
}
plot(x,y)
```

(3-10)

식 (3-10)의 plot(x,y)는 x축에 'x'에 들어 있는 값을 y축에는 'y'에 들어 있는 값을 대응시켜 점그래프를 그리라는 명령어이다.¹³⁾ 그 결과는 <그림 3-3>과 유사한 형태로 나타난다.

13) R을 활용한 그래프 그리기의 개념과 고급 활용법은 윤봉규(2021)를 참고하기 바란다. 특히, 1, 2장은 개념 위주로 쉽게 읽을 수 있다. 이 논문은 R 그래프를 뿐 아니라 데이터 시각화 전체를 이해하는데 도움을 줄 수 있는 내용이 포함되어 있다.



〈그림 3-3〉 동전던지기에서 앞면이 나오는 비율의 변화

코드를 실행하면 그림의 형태는 약간씩 다르겠지만 결과적으로 비율이 0.5로 수렴해가는 〈그림 3-3〉과 유사한 결과를 확인할 수 있을 것이다. 커릭은 동전 10000번을 던지는 실험을 위해 3년의 시간이 걸렸지만, R을 활용하면 1초도 걸리지 않아 결과를 확인할 수 있다.

(4) 평균과 분산

지금까지 살펴본 확률변수/분포는 확률적 현상을 묘사하기에 좋은 방법이지만 확률변수가 취할 수 있는 값이 많아지면 전체적으로 파악하기 어려워진다. 요즘이야 R과 같은 도구가 있어 그래프와 같은 시각화의 도움을 받아 확률변수의 특성을 쉽게 파악할 수 있지만 예전에는 그래프를 일일이 손으로 그려야 했으므로 그리는 시간과 비용이 많이 들었다. 이런 어려움을 극복하기 위해서, 확률변수를 요약해서 표현하고 하나의 숫자로 분포의 특성을 표현하는 방법으로 고안한 것이 평균(Mean)과 분산(Variance)이다.

평균은 각 확률변수에 그 확률값을 곱해서 더하는 방식으로 구하고 분산은 편차(변수-평균)를 제곱해서 확률값을 곱해서 더하는 방식으로 구한다. 〈표 3-1〉의 동전던지기 확률분포 표에서 평균과 분산은 다음과 같이 구할 수 있다. 평균은 각 확률변수 0, 1에 확률값인 1/2, 1/2을 각각 곱해서 나온 결과인 0과 1/2을 더해서 구한다(=1/2). 분산을 구하기 위해서는 편차를 먼저 구해야 하는데 편차는 변수에 평균을 뺀 값이므로 $-1/2(=0-1/2)$, $1/2(=1-1/2)$ 이 된다. 이 값에 확률값을 곱해서 더하면 0이 나오므로 의미있는 값을 얻을

수 없다.¹⁴⁾ 의미있는 값을 얻기 위해 편차를 제공한 1/4, 1/4에 확률값을 곱하면 1/8, 1/8이 되고 이를 더한 값 1/4이 분산이 된다.

분산은 편차를 제공한 것이므로 평균과는 다른 차원의 값이다. 차원을 평균과 동일하게 해주기 위해서는 제공한 것을 원래대로 돌려 놓아야 한다. 제곱을 반대로 돌리는 것이 제곱근(Square Root)이므로 분산의 제곱근 중 양수를 표준편차(Standard Deviation)라는 이름으로 활용하기도 한다. 동전던지기의 분산은 1/4이지만, 표준편차는 $1/2(=\sqrt{1/4})$ 이다.

```
> x<-c(0,1)
p <- dbinom(x,1,1/2)
m <- sum(x * p)
```

(3-11a)

```
> d <- 0:1 - m
v <- sum(d^2 * p)
```

(3-11b)

식 (3-11a, b)는 R에서 평균을 구해서 'm'에 저장하고, 분산을 구해서 'v'에 저장하는 코드이다. c(0,1)은 0과 1을 차례로 붙이라는(concatenate) 명령어로 R에서 변수를 입력하는 기본 방법이다.¹⁵⁾

3.3. 마코프 체인(마코비안 모형)

(1) 마코프 체인의 개념

마코프 체인은 생물집단의 규모 예측, 주가 예측, 재고 수준 예측 등 다양한 분야에 응용이 가능하므로 생물학, 물리학, 경영학 (산업공학) 등의 여러 분야에서 활용되고 있다. 그 결과 확실적인 현상의 분석은 모두 마코프 체인을 활용하고 있다고 하더라도 과언이 아닐 정도로 활용도가 높다. 이런 차원에서 마코프 체인은 국방분야에서도 확률적 현상의 모델링 및 분석을 위해서 활용할 수 있는 가능성이 높다(윤봉규, 2009).

마코프 체인은 현재의 상태만 알면 과거의 이력에 상관없이 미래의 상태를 예측할 수 있는 무기억속성(Memoryless Property)을 만족하는 확률적 현상을 표현하기 위한 방법이

14) 편차는 확률값을 곱해 더하면 항상 0이 된다.

15) 'x<- c(0,1,7,10)'은 'x'라는 변수에 0,1,7,10을 저장한다. 그결과 x[1]에는 0, x[2]에는 1, x[3]에는 7, x[4]에는 10이 저장된다.

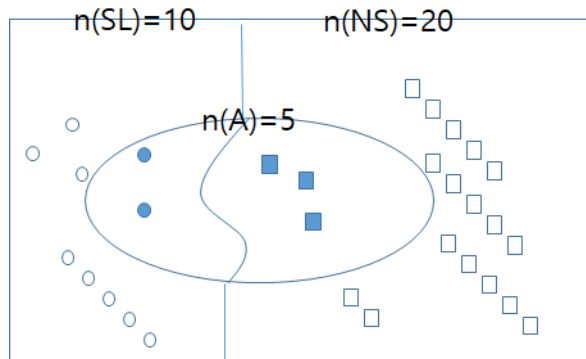
다. 마코프 체인은 확률과정의 다음 상태가 현재상태에 의해서만 영향을 받는 현상을 표현하므로 두 시점 사이의 상태변화(전이) 확률(State Transition Probability)로 표현될 수 있다. 두 시점의 상태가 i 에서 j 로 변화할 확률을 i 행 j 열의 원소로 갖는 행렬 \mathbf{P} 를 마코프 체인의 전이확률행렬(Transition Probability Matrix)이라고 하면 \mathbf{P} 의 i 행 j 열의 원소 $[P]_{ij}$ 는 아래 식 (3.12)와 같이 정의된다(윤봉규, 2010).

$$[P]_{ij} = P\{X(k+1) = j | X(k) = i\} \quad (3.12)$$

($X(k)$ 는 시점 k 에서 확률적 현상의 상태)

$X(k)$ 는 시점 k 의 상태를 나타낸다. 식 (3.12)의 우변은 시점 k 의 상태가 i 였다는 조건하에서 다음 시점인 시점 $(k+1)$ 의 상태가 j 로 변화할 확률을 표현한 것이다.

식 (3.12)의 우변과 같이 표현되는 확률을 조건부 확률(Conditional Probability)라고 한다. 조건부 확률은 앞 절에서 정의한 확률을 확장한 개념이다. 서울에 사는 사람 10명, 논산에 사는 사람이 20명 있는 모임에서 모임 대표를 뽑는데 5명은 A에게 투표하고 25명은 B에게 투표한 상황을 가정해 보자. 이 상황을 좀더 상세히 파악해 보니 A에게 투표한 사람 중 서울 거주자가 2명, 논산 거주자가 5명이었다. 이를 다이어그램으로 표현하면 다음 <그림 3-4>와 같다.



<그림 3-4> 모임 대표 투표 결과

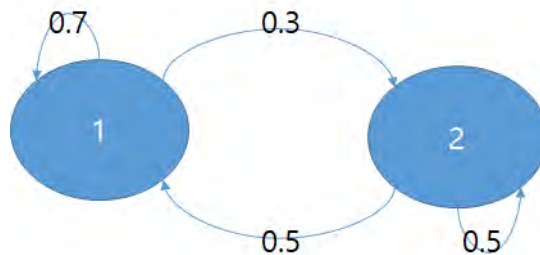
<그림 3-4>에서 \circ 는 서울 거주자(SL)을 나타내고, \square 는 논산 거주자(NS)을 나타낸다. $n(SL)$ 은 서울 거주자의 수(number)를, $n(NS)$ 는 논산 거주자의 수, $n(A)$ 는 A에게 투표한 사람 수를 나타낸다. 위 그림에 표시되지는 않았지만, $n(B)=25$ 이다. 이 모임에서 우연히 한

명을 뽑았을 때 서울거주자가 뽑힐 확률은 10/30이고, 논산 거주자가 뽑힐 확률은 20/30이다. A에 투표한 사람이 뽑힐 확률은 5/30이고, B에 투표한 사람이 뽑힐 확률은 25/30이다. 그런데 서울 사람 중 한 명을 뽑을 때 A에 투표한 사람이 뽑힐 확률은 얼마인가? 이 확률은 서울 사람이 10명이고, 그 중에 A에 투표한 사람은 2명이므로 2/10이 된다. 서울 사람 중에 한 명을 뽑는다는 것은 서울 사람이라는 조건(Condition)이 붙는 것이므로 이렇게 정의된 확률을 조건부 확률이라고 하며 $P\{A|SL\}$ 과 같이 중간에 ‘|’로 구하려는 확률 A와 조건 SL(서울사람)을 구분하는 방식으로 표현한다. 조건부 확률의 정의를 기반으로 식 (3.12)의 우변을 해석하면 시점 k에 상태 i에 있었던 횟수(Condition)를 분모로 해서 시점 k에 i에 있다가 시점 k+1에 상태 j로 전이한 횟수를 분자로 한 비율이 전이확률임을 알 수 있다.

마코프 체인을 좀더 쉽게 이해하기 위해 다음 예를 통해 마코프 체인의 개념을 알아보자. 오늘이 비가 오지 않았는데 내일 비가 올 확률이 30%, 오늘 비가 왔다면 내일 비가 오지 않을 확률이 50%라고 알려져 있는 날씨 변화를 마코프 체인으로 묘사해 보자.

우선 마코프 체인으로 묘사하는 것이 적절하려면 오늘의 날씨는 어제의 날씨에만 영향을 받아야 하고, 내일의 날씨는 오늘의 날씨에만 영향을 받아야 한다. 오늘의 날씨가 모레나 글피의 날씨에 영향을 주면 이는 무기억속성(Memoryless Property)라는 마코프 체인의 중요한 가정을 위배하는 것이므로 원칙적으로는 마코프 체인으로 분석할 수 없다. 원칙적으로 분석할 수 없다는 것은 약간의 변용을 통해 마코프 체인으로 분석할 수 있기 때문에 이런 표현을 사용했다. 이에 대한 자세한 내용은 Ross(2019) 4장에 자세히 소개되어 있으므로, 여기에서는 무기억 속성을 만족해서 오늘의 날씨는 어제에만, 내일 날씨는 오늘에만 영향을 받는 경우를 마코프 체인 모형으로 만들어 보자.

날씨를 비가 왔냐 그렇지 않냐 두 가지 상태로만 묘사하므로 상태는 비가 오지 않음을 나타내는 상태 1(비안옴), 비가 오는 것을 나타내는 상태 2(비옴)로 정의할 수 있다. 이렇게 정의하면 상태의 변화는 다음과 같은 다이어그램으로 표현할 수 있다.



〈그림 3-5〉 날씨 변화(전이) 다이어그램

<그림 3-5>와 같은 다이어그램을 상태전이 다이어그램(State Transition Diagram)이라고 한다. 상태 1(비안옴)에서 2(비옴)로의 전이 확률은 0.3(30%), 상태 2(비옴)에서 1(비안옴)로의 전이 확률은 0.5이다. 확률의 합은 1이라는 속성을 이용하면 상태 1에서 전이가 일어나지 않을 확률은 0.7이고 상태 2에서 전이가 일어나지 않을 확률은 0.5이다.

이제 분석을 위해 <그림 3-5>와 같은 전이 패턴을 수식으로 표현해 보면, 다음과 같은 전이확률행렬(Transition Probability Matrix)을 구할 수 있다.

$$P = \begin{pmatrix} .7 & .3 \\ .5 & .5 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

식 (3.13)에서 각 원소들은 상태 전이에 관한 확률을 나타내며, <그림 3-5>의 전이확률행렬의 원소로 표현한 것이다. 상태 1에서 변화가 없을 확률은 0.7, 1에서 2로 전이할 확률은 0.3, 2에서 1로 전이할 확률은 0.5, 2에서 변화가 없을 확률은 0.5라는 정보가 식 (3.13)에 그대로 반영되어 있다.¹⁶⁾

식 (3.13)과 같은 전이행렬로 마코프 체인을 표현하는 것은 분석상의 장점이 있다. 이를 실감나게 확인하기 위해서 오늘 비가 안왔는데 모레도 비가 안올 확률을 구해 보자. 이를 구하기 위해서 오늘→내일→모레의 상태 전이를 추적해야 한다. 가능한 경로는 1→1→1과 1→2→1이다. 즉 오늘, 내일, 모레 계속해서 비가 안오는 경우와 내일은 비가 오고 모레 다시 비가 안오는 경우가 존재한다. 이 가능성을 확률로 계산하면 1→1→1은 $0.49(=0.7 \times 0.7)$ 이고 1→2→1이 일어날 가능성은 $0.15(=0.3 \times 0.5)$ 이다. 따라서 오늘 비가 안오고 모레 비가 올 확률은 이 두 경로의 확률을 더한 0.64이다. 한편, 오늘 비가 왔는데 모레도 비가 올 확률은 2→1→2, 2→2→2, 두가지 경로가 있고 각 경로가 발생할 확률은 2→1→2는 $0.15(=0.5 \times 0.3)$, 2→2→2는 $0.25(=0.5 \times 0.5)$ 이므로 두 경로의 확률값을 합한 0.4가 오늘 비가 왔는데 모레도 비가 올 확률이 된다. 따라서 오늘과 모레 2일간의 상태 전이확률행렬을 $P^{(2)}$ 라고 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P^{(2)} = \begin{pmatrix} .64 & .36 \\ .6 & .4 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

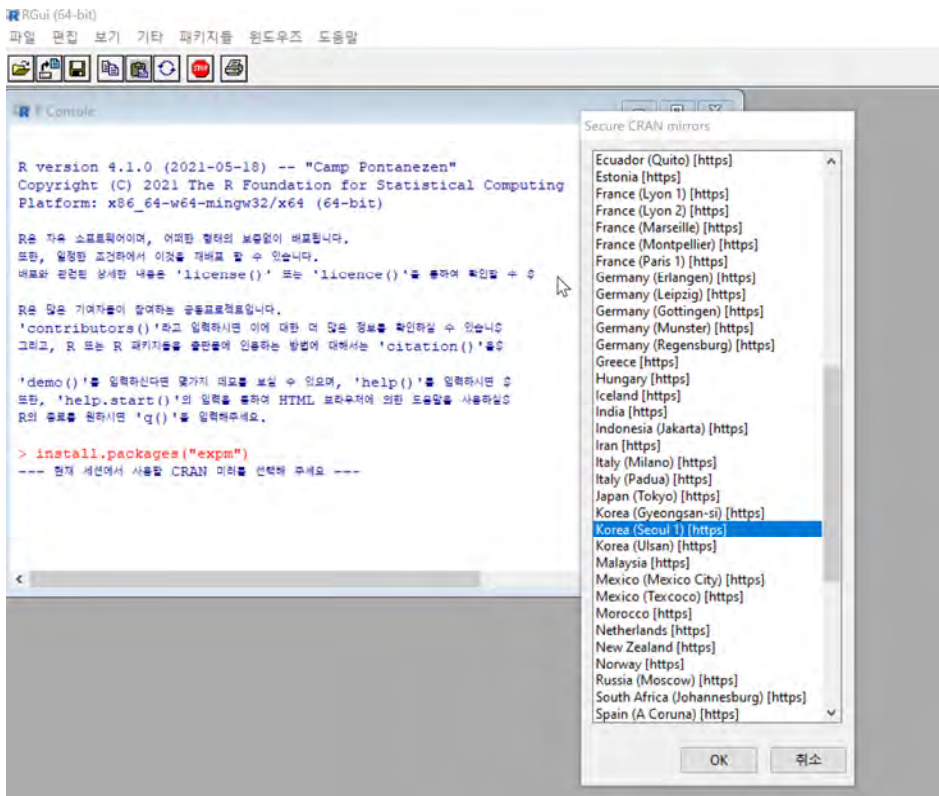
식 (3.14)의 행렬은 단순히 식 (3.13)의 전이확률행렬 P 를 두 번 곱하는 것으로 구할 수 있다. 이를 R을 활용해서 다음과 같이 확인할 수 있다. 전이확률행렬 P 를 우선 입력하자.

16) 확률합이 1이라는 확률의 속성으로 인해 마코프 체인의 전이확률행렬은 각 행의 합이 1인 특성을 가지고 있다.

> P = matrix(c(.7,.3,.5,.5),nrow=2,byrow=T) (3.15)

‘matrix’는 벡터 ‘c(.7,.3,.5,.5)’를 행렬로 바꿔주는 명령어이고, ‘nrow’는 행의 숫자를 ‘byrow’는 벡터를 행을 먼저 입력하는 방식으로 입력하라는 옵션이다. ‘byrow=T’를 옵션으로 선택하지 않으면 열을 먼저 채우는 방식으로 입력된다. 이제 행렬을 제공하기 위해서는 ‘expm’이라는 라이브러리(library)를 설치해야 한다. 이전에 이 패키지를 설치하지 않았다면 다음 명령어를 수행하면 된다.¹⁷⁾

> install.packages("expm")¹⁸⁾ (3.16)



〈그림 3-6〉 expm 패키지 설치

- 17) 이 명령어를 수행하기 위해서는 R 실행 아이콘을 마우스 오른쪽 클릭해서 관리자권한으로 실행하는 것이 좋다. 그렇지 않은 경우 간혹 쓰기 권한으로 인해 설치가 되지 않을 수 있다.
- 18) ‘expm’ 패키지를 설치할 때, ‘pracma’와 ‘tidyverse’도 같이 설치하면 마코프 체인 분석에 편리하다. ‘expm’ 설치와 유사하게 ‘install.packages(“pracma”)’와 ‘install.packages(“tidyverse”)’를 실행하면 된다.

패키지 설치 명령어를 실행하면 <그림 3-6>과 같은 창이 뜨고 파일을 다운받을 미리사이트를 선택하면 패키지가 설치된다. 설치후에 'library(expm)'이라는 명령어를 실행하면 행렬 연산과 관련된 각종 함수를 사용할 수 있다.

이제 행렬을 제공해보자. 행렬 P 를 제공하는 명령어는 다음과 같다.

$$\rangle P\%^2 \tag{3.17}$$

$\%^$ 는 R에서 행렬 연산을 위해서 특별히 개발한 연산기호이다. ' P^2 '은 행렬 원소를 각각 제공하지만 ' $P\%^2$ '는 행렬을 두 번 곱한다. 마찬가지로 ' $P*P$ '는 행렬의 원소를 각각 곱하는 연산을 수행하고, ' $P\%^*P$ '는 행렬의 곱셈 연산을 수행한다. 즉, ' P^2 '과 ' $P*P$ '가 동일한 연산을 수행하고 ' $P\%^2$ '과 ' $P\%^*P$ '이 동일한 연산을 수행한다.¹⁹⁾

<표 3-3> 3일간의 날씨변화 경로

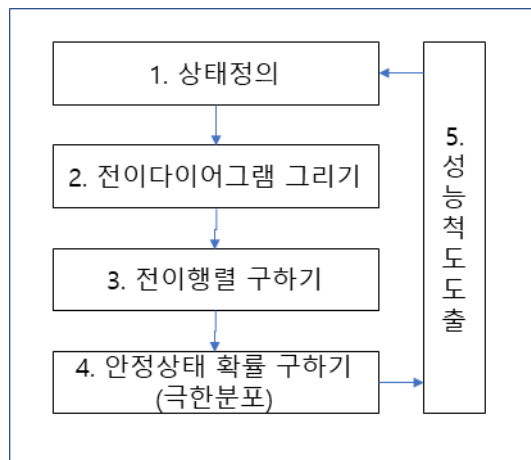
day0	day1	day2	day3
<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
1	1	1	1
1	1	1	2
1	1	2	1
1	1	2	2
1	2	1	1
1	2	1	2
1	2	2	1
1	2	2	2
2	1	1	1
2	1	1	2
2	1	2	1
2	1	2	2
2	2	1	1
2	2	1	2
2	2	2	1
2	2	2	2

19) 행렬의 각 원소의 곱 ' $P*P$ '와 행렬 전체의 곱셈연산 ' $P\%^*P$ '는 완전히 다른 것이다.

3일 동안의 변화를 나타내는 $P^{(3)}$ 을 구하는 경우를 생각해 보자. 이제 3일 동안의 변화 경로를 추적해야 한다. 이 변화 경로는 <표 3-3>에 제시된 바와 같이 모두 16가지이다. 오늘(day0)에 비가 안오고 글피(3일뒤, day3)에 비가 안오는 경우는 모두 4가지 경로가 있으며 이 경로의 확률을 다 구하는 것은 번거로운 일이다. 그런데 이 확률은 식 (3-13)의 1단계 전이확률행렬 P 를 세제곱하면 쉽게 구할 수 있다. R에서는 'P%^%3'을 입력하면 그 결과를 구할 수 있다. 이렇듯 모든 경로를 추적해서 여러 단계의 전이확률을 계산해야 하는 번거로움을 마코프 체인의 전이확률행렬은 마치 연쇄반응(Chain Reaction)이 일어나듯이 쉽게 계산해 준다. 그런 이유로 마코프 체인이라는 이름은 꽤 그럴듯한 이름이라고 할 수 있다. 결과적으로 n 일 동안의 전이확률은 1단계 전이확률을 n 번 곱(행렬곱셈)하는 n 제곱 방식 ($P^{(n)} = P^n$)으로 'P%^%n'을 통해 계산할 수 있다.

(2) 마코프 체인을 활용한 모형 구축: 사례 1

마코프 체인을 활용해서 평균 3일에 한 번씩 고장이 나고, 수리시간은 평균 이틀이 소요되고 수리 후에는 바로 운영을 재개하는 사례 1에서 소개된 장비의 가동율을 구해보자. 이를 분석하기 전에 마코프 체인을 활용하여 모델링하는 표준적인 절차를 먼저 살펴보자. 마코프 체인을 활용하여 모델링을 수행하는 표준적인 절차는 <그림 3-7>과 같다.



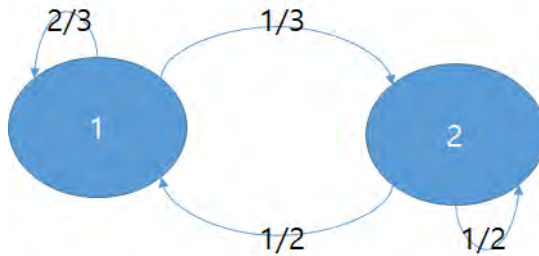
<그림 3-7> 마코비안 모형 분석 절차(윤봉규, 2019)

앞 절의 날씨 변화를 마코프 체인으로 표현할 때에도 먼저 날씨의 상태를 1(비안옴), 2(비옴)으로 정의하고, 전이 다이어그램을 <그림 3-5>와 같이 그렸으며, 이를 식 (3-13)과 같이

전이행렬로 표현했다. 안정상태와 성능척도에 대한 내용은 앞 절에서는 다루지 않았지만 여기에서는 전이확률행렬을 구한 후에 다룰 것이다.

사례 1로 돌아가서 평균 3일에 한 번씩 고장이 나는 장비는 매일 고장 날 확률이 1/3인 것과 동일하다. 마찬가지로 논리로 평균 수리시간이 2일이 걸린다는 것은 수리가 될 확률이 매일 1/2이라고 생각할 수 있다.²⁰⁾ 사례 1은 매일 주사위를 던져서 5 또는 6이 나오면 고장이 발생하고, 고장이 발생해서 수리를 시작하면 주사위를 던져서 4, 5, 6중에 하나가 나오면 수리를 종료하는 가상적인 상황과 확률적으로 동일하다. 주사위 대신에 앞면이 나올 확률이 1/3인 동전을 던져서 고장 발생 여부를 결정하고, 앞, 뒷면 나올 확률이 동일한 동전을 던져서 수리 종료 여부를 결정해도 똑같다.²¹⁾

사례 1을 마코프 체인으로 모델링하기 위해 우선 상태를 정의하자. 상태 1은 운행중인 상태, 상태 2은 고장이 나서 수리중인 상태라고 정의하자. 이렇게 상태를 정의하면 상태전이를 <그림 3-8>과 같이 다이어그램으로 그릴 수 있으며, 이를 상태전이확률행렬로 표현하면 식 (3-18)이 된다.



<그림 3-8> 사례 1(장비가동율) 상태전이 다이어그램

$$P = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \tag{3-18}$$

식 (3-18)은 1단계 전이확률행렬이므로, 5일 뒤의 전이확률을 알고 싶으면 식 (3-19)를 R에서 수행하면 식 (3-20)과 같은 결과를 확인할 수 있다.

20) 1/3의 확률로 일어나는 사건은 평균 3번에 한 번 일어나고, 1/2로 일어나는 사건은 평균 두 번에 한 번 꼴로 일어난다.

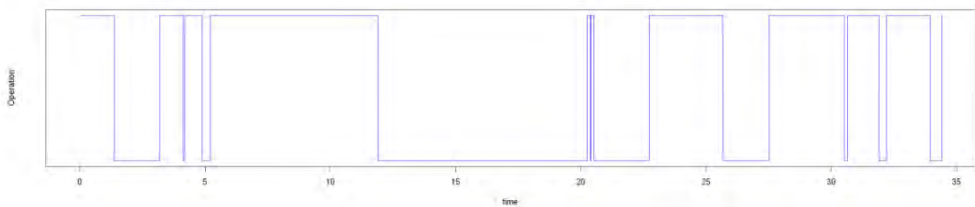
21) 앞서 동전던지기보다 우발적 현상의 가장 기본적인 형태라고 언급했듯이 사례 1의 확률적 현상도 동전던지기보다 묘사할 수 있다.

$$\rangle P = \text{matrix}(c(2/3,1/3,1/2,1/2),nrow=2, byrow=T) \tag{3-19a}$$

$$\rangle P\%^{\wedge}3 \tag{3-19b}$$

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0.6018519 & 0.3981481 \\ 0.5972222 & 0.4027778 \end{pmatrix} \tag{3-20}$$

식 (3-18)에 제시된 전이확률행렬은 사례 1의 정상운행(1)과 수리(2) 상태를 왔다 갔다 하는 장비 운용과 관련된 확률적 현상을 분석할 수 있는 모형이다. 이 모형을 통해서 우리가 분석하고자 하는 것은 이 장비를 사용할 때의 가동율이다. 가동율은 장비의 총 사용시간 중 실제 사용한 시간의 비율이므로 식 (3-18)과 같은 변화구조(전이구조)를 가지는 확률적 현상이 시간에 따라서 어떻게 변화하는지를 추적해서 구해야 한다.



〈그림 3-9〉 장비 가동현황(사례1)

〈그림 3-9〉은 사례 1에서 제시된 확률적 특징에 따라서 운용되는 장비의 가동 현황을 나타낸다. x축은 시간을 나타내며, y축 값이 올라가 있을 때는 가동중임을 바닥에 있을 때는 수리중인 상태를 나타낸다. 가동율은 총 가동시간 중에 올라가 있는 상태의 비율로 구할 수 있다. 문제는 〈그림 3-9〉에서 알 수 있듯이 고장과 수리가 일정시간 간격이 아니라 불규칙적으로 나타난다는 점이다. 마코프 체인은 이런 불규칙한 성질을 규칙적인 특징으로 바꾸어주는 놀라운 특성을 가지고 있으며, 이는 오랜 시간 이후의 마코프 체인의 전이확률을 계산하면 나타난다. 시간이 경과함에 따라서 어떤 전이확률이 어떻게 규칙적으로 변하는 패턴을 살펴보려면 다음 코드를 R에서 실행하면 된다.

```

> for (i in 1:100){
  print(i)
  print(P%^i)
}
    
```

(3-21)

식 (3-21)을 실행하면 시간(i)가 1일 때부터 100일때까지 시간(i)과 i시간 이후의 전이확률 행렬(P^i)가 출력('print')된다. 그 결과를 확인하면 일정 시간 이후에는 전이확률행렬이 식 (3-22)와 같이 모든 열의 같아지는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 오랜 시간이 지난 후 전이확률행렬의 모든 열이 동일한 확률값을 가지는 현상을 확률이 더 이상 변화하지 않고 안정되었다는 것을 강조해서 안정상태(Steady-state)라고 한다. 또한 오랜시간 이후의 전이확률이라는 점을 강조해서 극한확률(Limiting Probability)이라고 하기도 한다. 앞서 언급했듯이 흥미로운 점은 전이확률행렬의 값이 더이상 바뀌지 않고 규칙적(안정적)이라는 점이다.

$$P^\infty = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.4 \end{pmatrix} \quad (3-22)$$

안정상태확률의 의미를 이해하기 위해서 동전던지기를 다시 생각해보자. 동전을 던지면 동전을 던진 횟수와 앞면이 나온 횟수의 비율은 0.5로 수렴해 가겠지만, 실제로 동전을 던져보면 <그림 3-3>에서와 같이 어느정도 변동이 있다가 0.5로 수렴한다. 전이확률 행렬로 표현되는 마코프 체인은 여러 종류의 동전던지기가 복합적으로 섞여 있는 것으로 생각할 수 있다. 그 결과 동전던지기의 0.5와 같은 하나의 확률값이 아니라 전이확률행렬이라는 여러 개의 확률값의 모임으로 묘사된다. 그러나 본질은 동전던지기와 마찬가지로 여러 번(오랜 시간 동안) 시행하면 일정한 확률값으로 수렴하며, 식 (3-22)의 안정상태확률은 수렴한 확률값이라고 할 수 있다. 동전던지기에서 수렴한 값 0.5가 동전 던지기 횟수를 분모로, 앞면이 나온 횟수를 분자로 했을 때 그 비율이 수렴하는 값이듯, 안정상태확률은 총 시간을 분모로 해당 상태가 나온 횟수를 분자로 계산한 비율이 수렴하는 값이다. 열을 기준으로 상태 1은 1열, 상태 2는 2열에 수렴하는 비율이 나타나며, 이런 측면에서 1열의 확률은 전체 시간 중에 상태 1(운행중)이었던 시간의 비율이고, 2열의 확률은 전체 시간 중에 상태 2(고장수리중)였던 시간의 비율이 된다.

안정상태확률은 식 (3-22)와 같이 오랜 시간 이후의 전이확률행렬을 구하는 방식으로 결과를 유도할 수도 있지만, 1차 연립방정식을 푸는 방식으로 구할 수도 있다. 극한값을 구하는 것보다는 1차 연립방정식을 푸는 것의 난이도가 낮다는 점을 고려하면 R을 활용해서 전이확률행렬의 거듭제곱으로 안정상태 확률을 구하는 것보다 연립방정식을 통해서 구하는 방식이 연산 자원을 효율적으로 사용하는 방법이다. 특히 마코프 체인의 상태 개수가 많아져 전이확률행렬의 차원이 커지는 경우에는 연산 속도 저하가 일어날 수 있으므로 1차 방정식을 활용하는 방법이 효율적이다. 여기에서는 이 방법의 이론적 논의는 자세히 소개하지

않고 함수 형태로 1차 연립방정식을 활용해서 안정상태확률을 구하는 방법을 제시한다.²²⁾ 안정상태확률을 구하는 R 함수는 다음과 같다.

```

> steady_state <- function(Q){
  d <- size(Q,1)
  if(Q[1,1])=0) Q <- Q - eye(d)
  Q[,d] <- 1
  inv(Q)[d,]
}23)

```

(3-23)

R에서 함수는 '함수이름 <- function(입력변수)'로 정의하며, 반복문과 동일하게 중괄호 '{ }' 사이에 수행할 내용이 정의된다. 식 (3-23)을 R에서 실행한 후 'steady_state(P)'를 실행하면 '0.6 0.4'라는 안정상태확률을 구할 수 있다.²⁴⁾

안정상태확률이 전체 시간 중에 운용중(상태 1), 수리중(상태 2)인 시간의 비율을 나타내므로, 사례 1의 가동율은 60%이다. 여기에서는 가동율을 구하는 것을 목표로 했지만 전체적인 가동율이 아니라 장비보유비용을 분석하는 것이 필요할 수도 있다. 이 경우에는 안정상태확률에 운행중일 때의 비용과 수리중일때의 비용을 곱해서 장비보유를 위한 평균 비용을 구해야 한다. 장비보유비용이라는 새로운 평가기준을 성능척도(Performance Measure)라고 하며, 성능척도는 안정상태확률을 기초로 도출된다. 사례 1은 안정상태확률이 성능척도가 된 경우이지만 그렇지 않은 경우가 대부분이므로 마코프안 모형을 활용한 분석에서 <그림 3-7>의 성능척도 구하기 단계가 필요한 경우가 많다.

지금까지 사례 1을 <그림 3-7>에 정의된 절차에 따라서 마코프 체인을 활용한 분석 방법을 살펴보았다. 사례 1에서 평균 고장까지 시간이 3일, 수리시간의 평균이 2일이지만 확률적인 특징을 가지고 운행, 수리를 반복하는 경우를 분석했다. 그런데 총 5일 동안 3일 운행

22) 이 방법의 이론적 논의는 손취민&윤봉규(2008)에 상세히 소개되어 있다.

23) 이 함수의 'size' 명령어는 'tidyverse' 패키지가 필요하고, 'eye'와 'inv' 명령어는 'pracma' 패키지가 필요하다. 'expm' 패키지와 마찬가지로 'install.packages("tidyverse")'와 'install.packages("pracma")'를 실행해서 패키지를 설치하고, 'library(pracma)'와 'library(tidyverse)'를 실행해야 이 함수를 오류 없이 사용할 수 있다.

24) 이 함수의 인수를 Q로 한 것은 연속시간 마코프 체인을 기준으로 작성했기 때문이다. 연속시간 마코프 체인은 이산시간과 전이확률을 구하는 방법이 약간 차이가 있어 안정상태확률을 구하기 위해서 몇 가지 사전 작업이 필요하다. 'steady_state' 함수는 연속이나 이산에 관계없이 안정상태확률을 구할 수 있도록 사전작업이 포함되어 있다. 다만 연속일 때는 전이확률행렬이 아니라 전이율행렬을 입력해야 한다. 그러나 본질적으로 연속시간 마코프 체인은 이산시간 마코프 체인과 동일한 분석 결과를 제시한다. 이에 대해서 추후 논의한다.

하고 2일 수리하는 것이 확률적인 변화 없이 계속 반복된다고 하더라도 가동율은 3/5(=60%)이므로, 그 결과가 마코프 체인을 활용한 결과와 동일하다. 동일한 분석 결과를 가진다면 확률적인 상황을 가정해서 이렇게 어렵게 분석할 필요가 있을까 생각할 수도 있다. 그러나 사례 1의 경우는 우연히 그렇게 나온 것이고 실제로는 복잡한 확률적 현상이 얽혀 있어서 그렇게 계산할 수 없다. 이를 아래 사례를 통해 확인해 보자.

우선 조금더 현실에 가깝게 운행중(1), 수리중(2) 상태만 있는 모형에 대기중(3)이라는 상태를 추가하자. 식 (3-24)는 운행중일 때는 3일에 한 번 고장이 나서 수리 상태로 전이하고 수리는 평균 2일이 소요되는 것은 사례 1과 같다. 그런데, 수리 이후로 운행중으로 바뀌는 것이 아니라 대기중(3)으로 전이하고 대기중일 때는 평균 3일 대기 이후에 운행중으로 전이하거나 6일 대기 이후에 수리중으로 전이한다.

$$P = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (3-24)$$

식 (3-24)를 전이행렬로 가지는 마코프 체인의 안정상태확률은 식 (3-25)와 같이 구할 수 있으며 그 결과는 '0.33333333 0.33333333 0.33333333'이다. 이 결과는 각 상태에 체류하는 비율이 1/3이라는 의미이므로, 총시간에서 운행한 시간의 비율인 가동율은 1/3이다. 그런데 각 상태에 체류하는 평균 시간은 운행중에 3일, 수리중에 2일, 대기중에 2일²⁵⁾ 체류하므로 사례 1처럼 확정적으로 반복이 된다면 가동율은 3/(3+2+2)로 계산할 수 있어야 하나 3/7은 0.33333333이 아니므로 두 값이 상이하다. 하나의 상태만 추가 되어도 확률적으로 복잡하게 얽히므로 계산이 복잡해지므로 마코프 체인을 이용하지 않으면 분석이 어렵다.

```

> P = matrix(c(2/3,1/3, 0, 0, 1/2, 1/2, 1/3, 1/6, 1/2),
              byrow=T, nrow=3)
P%%100
steady_state(P)
    
```

(식 3-25)

25) 대기중에는 운행으로 전이하거나 고장이 나서 수리로 전이하는 경우가 겹치므로 평균 2일마다 전이가 일어난다.

3.4. 흡수 마코프 체인

(1) 흡수 마코프 체인의 개념

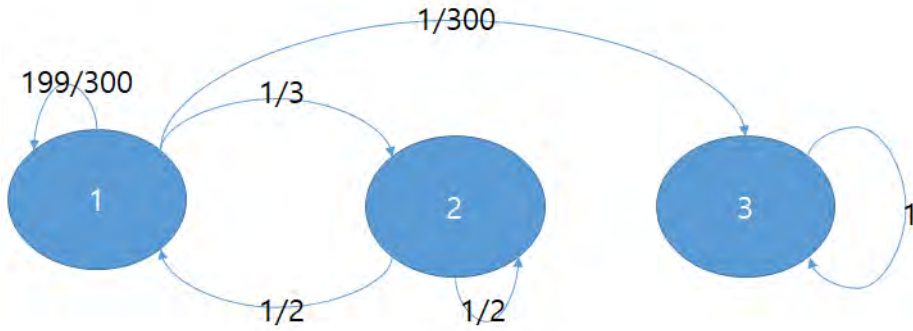
앞 절에서 살펴본 안정상태확률을 구할 수 있는 마코프 체인은 명시적으로 가정하지는 않았지만 상태가 계속해서 전이한다는 가정에 기초하고 있다. 실제 장비는 운영과 수리를 영원히 지속할 수는 없지만, 이를 가정하고 분석을 수행하는 것이 일반적이다. 기업이 계속될 수 없지만 회계에서 계속기업의 원칙을 가정하는 것이나, 동전던지기도 영원히 할 수 없지만 확률이 무한히 동전던지기를 반복했을 때 나온 비율로 정의되는 등, 유사한 가정을 다양한 분야에서 찾아볼 수 있다. 그러나 현실적으로 장비를 폐기하거나 교체해야 시점을 파악하기 위한 분석을 수행해야 할 때는 이런 식으로 영원히 어떤 현상이 지속된다는 가정을 벗어날 필요가 있다.

마코프 체인은 영원히 전이가 반복된다는 가정에 기초하여 분석하는 앞 절의 방법론과 확률적 현상이 더이상 발생하지 않는 종료시점이 있다는 가정에 근거하여 분석을 수행하는 이 절에서 다루고자 하는 방법론으로 구분된다. 앞 절의 방법론을 에르고딕(Ergodic) 마코프체인²⁶⁾이라고 하고, 지금 다루고자 하는 종료시점을 가정하는 마코프 체인을 흡수 마코프 체인(Absorbing Markov Chain)이라고 한다.

흡수 마코프 체인은 분석 방법론이 에르고딕 마코프 체인과 거의 유사하다. <그림 3-7>에 제시된 방법론에서 4단계 안정상태확률 대신에 종료되는 시점까지의 시간(흡수시간)을 구하는 것 외에는 동일하다. 이제 사례를 통해 흡수 마코프 체인의 개념을 상세하게 살펴보자.

<그림 3-7>에 제시된 운행중(1)과 수리중(2)을 반복하는 사례 1에서 장비가 완전히 사용할 수 없게 되는 사용불가(3) 상태를 추가하고 사용불가 상태가 될 때까지 걸리는 시간을 구해보자. 논의를 위해서 수리가 가능한 고장은 평균 3일에 한 번의 빈도를 일어나지만, 장비를 완전히 폐기해야 하는 사용불가 고장은 평균 300일에 한 번 정도 일어난다고 가정하자. 평균 3일에 한 번 일어나는 것은 매일 1/3의 확률로 고장이 발생하는 것으로 모델링 했듯이, 평균 300일에 한 번씩 일어나는 고장은 매일 1/300의 확률로 고장이 일어나는 것으로 모델링 할 수 있다. 이 상황을 전이 다이어그램으로 그려보면 다음 <그림 3-10>과 같다.

26) 에르고딕 마코프 체인은 기약(Irreducible), 양재귀(Positive Recurrent), 무주기(Aperiodic)이라는 세 가지 속성을 만족해야 한다. 이에 대한 수학적 논의와 의미는 Ross(2019) 4장과 윤봉규(2009)를 상세히 소개되어 있다. 결론적으로 앞의 세 가지 속성은 영원히 지속될 수 있는 조건이므로 에르고딕은 영원히 지속됨과 동의어이다.



〈그림 3-10〉 흡수 마코프 체인의 전이다이아그램

〈그림 3-10〉의 사례 1의 전이다이아그램인 〈그림 3-8〉과 비교해 보면 사용불가 상태인 상태 3이 추가 되었고, 상태불가 상태로 전이가 확률 1/300로 일어난다는 것이 추가 되었다. 한 가지 눈여겨 봐야 할 것은 상태 1에서 그대로 머무르는 확률이 199/300으로 바뀌었다는 것이다. 상태 1에 그대로 머무르는 것은 전이가 일어나지 않을 확률이다. 상태 2로의 전이가 일어날 확률 1/3과 상태 3으로 전이가 일어날 확률 1/300을 더한 101/300이 상태 1에서 다른 상태로 전이가 일어날 확률이므로 전이가 일어나지 않을 확률을 199/300으로 변경해야 확률합이 1이 되다는 점을 반영한 결과이다. 아울러 상태 3으로 전이하면 이제 다른 상태로의 전이는 불가능하므로 상태 3에서 벗어날 확률은 0, 상태 3에 머물 확률은 1이 된다. 확률 0은 전이다이아그램에서 표현하지 않으므로 상태 3에 머물 확률 1만 〈그림 3-10〉에 표현되어 있다.

〈그림 3-1〉을 상태전이확률 행렬로 표현하면 다음 식 (3-26a)과 같으며, 이를 R에 식 (3-26b)과 입력할 수 있다.

$$P = \begin{pmatrix} \frac{199}{300} & \frac{1}{3} & \frac{1}{300} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3-26a)$$

$$\begin{aligned} > P = \text{matrix}(c(199/300, 1/3, 1/300, 1/2, 1/2, 0, 0, 0, 1), \\ & \quad \text{byrow=T, nrow=3}) \end{aligned} \quad (3-26b)$$

식 (3-26b)와 같이 R에 흡수 마코프 체인의 전이확률 행렬을 입력하고 ‘steady_state(P)’를 실행하면 ‘0 0 1’을 결과를 얻는다. 이는 다음 식 (3-26c) 같은 극한확률(안정상태확률)이 나타나는 것과 동일하다.²⁷⁾

$$P^\infty = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3-26c)$$

식 (3-26c)에서 흡수 마코프 체인은 궁극적으로 상태 3으로 전이하게 됨을 확인할 수 있다. 아무리 오랜 시간 운행 가능한 장비라도 무한 시간 운행하면 최종 상태는 사용불가(3)가 되는 것이 당연하므로 위 식의 결과는 자명하다.

어차피 최종상태(흡수상태)로 전이하게 되는 흡수 마코프 체인에서 안정상태확률을 구하는 것은 의미가 없다. 안정상태확률보다는 언제 흡수상태가 되는지를 구하는 것이 의미가 있다. 언제 흡수상태가 되는지 구하기 위해서 상태를 흡수상태인 사용불가(3)와 비흡수상태인 운행중(1), 수리중(2)으로 구분해 보자. 비흡수상태를 일시적으로 머무는 상태라는 의미에서 일시상태(Transient State)라고 한다.

흡수 마코프 체인의 상태는 일시상태와 흡수상태로 구분할 수 있다. 이제 식 (3-26a)의 전이확률 행렬은 일시상태 사이의 전이를 나타내는 T와 일시상태에서 흡수상태로의 전이를 나타내는 a로 구분해서 표현할 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} T & a \\ 0 & I \end{bmatrix},$$

$$T = \begin{pmatrix} \frac{199}{300} & \frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, \quad a = \begin{pmatrix} \frac{1}{300} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (3-27)$$

27) ‘P%’%100’과 같이 안정상태를 구하려면 충분히 큰 숫자를 입력해야 한다. 식 (3-26a)를 전이행렬과 갖는 흡수 마코프 체인에서 ‘P%’%n’의 형태로 식 (3-26c)의 결과를 확인하려면 n에 100000 정도를 입력한 ‘P%’%100000’을 실행해야 한다. 이를 실행하면 실제 R 출력 결과에서는 0 대신 ‘0.000000e+00’이나 ‘9.337913e-88’와 같은 숫자가 나타난다. 컴퓨터 연산에서는 0을 부동소수점(Floating Point) 형태로 표현하므로 여러 번 연산하면 수치에러(Numerical Error)가 쌓여서 이런 결과가 나온다. ‘e-88’는 10⁻⁸⁸을 공학 표현법에 따라서 나타낸 것이며 매우 작은 숫자이므로 거의 0과 같은 수이므로 0으로 해석하면 된다. ‘9.337913e-88’의 앞의 숫자 9.337913은 중요하지 않다. 0.0000...9337이나 0.0000...0000 모두 0에 가까운 숫자이고 연산 과정에서 에러가 쌓인 것이니 ‘9.337913e-88’, ‘3.040788e-18’, ‘7.888609e-31’, ‘0.000000e+00’는 모두 0으로 해석할 수 있다. 컴퓨터 사양과 분석 모형의 묘사 수준에 따라서 다르겠지만 보통 10⁻¹⁶ 이하의 숫자는 컴퓨터를 활용한 연산에서 모두 0으로 봐도 무방하다.

흡수될 때까지의 시간을 구하기 전에 동전던지기로 다시 돌아가서 뒷면이 나오면 더 이상 동전던지기를 하지 않는 경우를 생각해 보자. 이 동전던지기에서 최초로 뒷면이 나올 때까지 동전을 던진 횟수를 구하는 것이 당장의 목표이다. 동전던지기에서 뒷면이 최초로 나올때까지 동전을 던진 횟수를 X 라고 하면 X 는 <표 3-4>와 같은 확률분포를 가진다. 동전이 앞면이 나올 확률은 p 라고 가정한다. 뒷면이 나오면 더 이상 동전던지기를 할 수 없으므로 뒷면 없이(확률 $1-p$) 계속 앞면이 연달아 나와야 추가로 동전을 던질 수 있으므로 한 번만 동전을 던질 확률은 처음 던졌을 때 뒷면이 나올 확률인 $1-p$, 2번 시행할 (던질) 확률은 처음에 앞면이 나오고 두 번째 뒷면이 나오는 $p(1-p)$ 와 같은 식으로 확률을 계산할 수 있다.

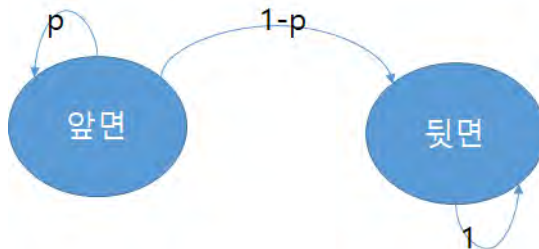
<표 3-4> 최초로 앞면이 나올 때까지 시행횟수

확률변수	1	2	3	...	n	...
확률	$1-p$	$p(1-p)$	$p^2(1-p)$...	$p^{n-1}(1-p)$...

뒷면이 나오면 중단하는 동전던지기에서 동전을 던진 횟수의 기댓값은 다음과 같다.²⁸⁾

$$1 \times (1-p) + 2 \times p(1-p) + 3 \times p^2(1-p) + \dots = (1-p)^{-1} \quad (3-28)$$

뒷면이 나오면 중단하는 동전던지기를 이제 흡수 마코프 체인과 연결해 보자. 흡수 마코프 체인은 흡수가 되면 더이상 전이를 하지 않으므로 동전던지기를 중단하는 것과 같다. 뒷면이 나오면 중단하므로 앞면은 일시상태, 뒷면은 흡수상태로 정의할 수 있으며 뒷면이 나오면 중단하는 동전던지기는 <그림 3-11>과 같이 전이 다이어그램으로 표현할 수 있으며, 상태가 두 개(일시상태인 앞면, 흡수상태 뒷면)인 흡수 마코프 체인임을 확인할 수 있다.



<그림 3-11> 뒷면이 나오면 중단하는 동전던지기

28) 식(3-28)은 공비가 p 인 무한등비급수의 합을 구하는 공식에서 유도할 수 있다. 무한등비급수의 합을 약간 변형하면 $1+2p+3p^2+4p^3+\dots = (1-p)^{-2}$ 이며, 양변에 $(1-p)$ 를 곱하면 식 (3-28)의 결과를 얻을 수 있다.

뒷면이 나오면 중단하는 동전던지기에서 흡수되기 전에 일시상태에서 전이된 횟수는 뒷면이 나오기 전에 동전을 던진 횟수이며, 이런 차원에서 흡수되기 전에 전이한 횟수의 기댓값(평균)은 식 (3-28)이 된다. 다시 말해 일시상태 전이확률이 p 인 흡수 마코프 체인의 흡수가 일어날 때까지 일시상태에서 전이한 횟수의 기댓치는 $(1-p)^{-1}$ 이 된다. 이를 사용불가 상태가 있는 <그림 3-1>과 식 (3-26a)에 의해 정의된 흡수 마코프 체인으로 확장하면 일시상태 전이확률 p 대신에 일시상태 전이확률행렬 T 를 식 (3-28)에 대입하면 흡수되기 전에 일시상태에 재방문한 (또는 머문) 횟수의 기댓치가 된다.²⁹⁾ T 가 행렬이므로 1대신에 행렬의 항등원 역할을 하는 대각원소³⁰⁾만 1이고 나머지 모든 원소가 0인 아래 식과 같은 항등행렬 (Identity Matrix, 단위행렬)을 식 (3-28)의 1에 입력해야 한다. 즉, 흡수 마코프 체인에서 흡수되기 전에 일시상태를 방문한 (또는 머문) 횟수의 기댓치는 다음 식 (3-29)와 같다.

$$(I - T)^{-1}, \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3-29)$$

식 (3-29)를 활용하여 식 (3-27)의 전이확률을 갖는 사용불가상태가 있는 장비의 사용불가 상태가 될 때까지 운용한 시간을 R 에서 구하는 코드는 식 (3-30a)와 같으며 그결과는 식 (3-30b)와 같다.

$$\rangle T = P[1:2, 1:2] \quad (3-30a)$$

$$\text{inv}(\text{eye}(2) - T)$$

$$(I - T)^{-1} = \begin{bmatrix} 300 & 200 \\ 300 & 202 \end{bmatrix} \quad (3-30b)$$

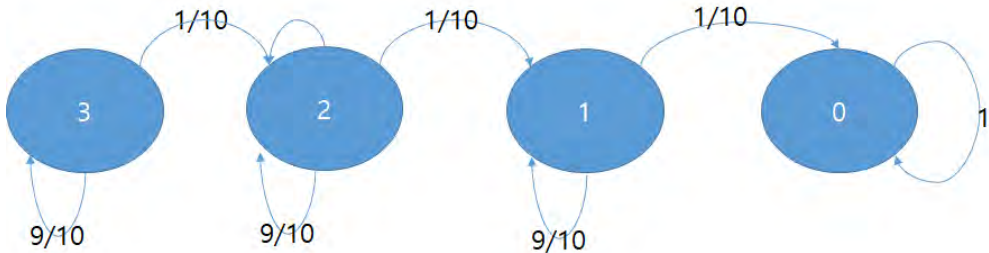
식 (3-30b)를 통해 운행중(1) 상태에서 장비의 상태가 시작되었다면 사용불가까지 운행중(1) 상태를 300번, 수리중(2) 상태를 200번 거치며, 수리중(2)에서 시작했다면 운행중(1) 상태를 300번, 수리중(2) 상태는 202번 거친다는 것을 파악할 수 있다.³¹⁾ 이 결과를 통해

29) 이에 대한 상세한 수학적 논의는 Ross(2019) 4장을 참고하기 바란다.
 30) 대각 원소는 1행 1열, 2행 2열처럼 행과 열이 일치하는 위치의 원소를 의미한다.
 31) 식 (3-30b)의 i 행 j 열의 값은 상태 i 에서 시작했을 때 흡수될 때까지 상태 j 에 방문 (또는 체류)하는 시간(횟수)에 대한 기댓치이다.

이 장비는 운행중이라면 평균 500일, 수리중이라면 평균 수리일 2일을 포함한 502일 동안 사용불가 상태가 될 때까지 운행과 수리를 반복한다고 할 수 있다.

(2) 흡수 마코프 체인을 활용한 모형 구축: 사례 2

핵심 부품이 평균 10일 동안 작동하는 장비의 신뢰도 향상을 위해 예비 부품 2개를 추가로 가지고 있으면서, 부품이 고장나면 핵심부품을 즉시 교체해서 쓰는 3중 설계 장비의 신뢰도를 구하는 사례 2를 흡수 마코프 체인을 활용해서 모델링해 보자. 모델링을 위해서 상태를 고장나지 않은 핵심 부품의 수라고 하면 상태는 3, 2, 1, 0으로 정의된다. 부품이 평균 10일 작동한다는 것은 1/10의 확률로 매일 고장날 가능성이 있다는 것과 동일하므로, 이를 반영한 전이 다이어그램을 그리면 <그림 3-12>와 같이 표현 가능하며, 이를 전이확률행렬로 표현하면 식 (3-31)과 같다.



<그림 3-12> 3중 설계장비(사례 2)의 신뢰도 분석을 위한 전이 다이어그램

$$P = \begin{pmatrix} \frac{9}{10} & \frac{1}{10} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{9}{10} & \frac{1}{10} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{9}{10} & \frac{1}{10} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3-31a)$$

$$T = \begin{pmatrix} \frac{9}{10} & \frac{1}{10} & 0 \\ 0 & \frac{9}{10} & \frac{1}{10} \\ 0 & 0 & \frac{9}{10} \end{pmatrix} \quad (3-31b)$$

모든 부품이 고장나는 상태 0일 될 때까지 걸리는 시간을 식 (3-29)를 활용해서 구하는 R코드와 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} > P = \text{matrix}(c(9/10,1/10,0,0,0,9/10,1/10,0,0,0,9/10,1/10,0, \\ & \quad 0, 0, 1),\text{byrow}=T, \text{nrow}=4) \\ T &= P[1:3,1:3] \\ \text{inv}(\text{eye}(3) - T) \end{aligned} \tag{3-32a}$$

$$(I - T)^{-1} = \begin{pmatrix} 10 & 10 & 10 \\ 0 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix} \tag{3-32b}$$

식 (3-31b)를 통해 3개의 부품이 있을 때는 이 장비의 고장까지 평균 30일이 2개의 부품 일 때는 20일, 하나만 남아 있을 때는 10일이 걸린다는 것을 확인할 수 있다. 이 사례 역시 사례 1과 같이 고장까지의 평균시간에 부품의 수를 곱하는 방식으로 구한 결과와 일치해서 이렇게 복잡한 분석이 필요한지에 대해서 의문을 가질 수 있지만, 앞의 사례와 마찬가지로 이는 우연의 일치이며 부품의 수리 등으로 확률적 현상이 조금이라도 얹히면 마코프 체인을 활용하지 않고 분석하기가 어렵다.

장비가 완전히 고장날 때까지 시간에서 한 단계 더 들어가서 30일 후에 이 장비가 여전히 작동중일 확률을 구해보자. 이 확률은 30일 뒤의 전이확률을 구하는 문제이다. 흡수 마코프 체인도 여전히 마코프 체인이므로 일정 시간 후의 전이 확률은 1단계 전이확률 행렬을 여러 번 곱하는 방식으로 구할 수 있으며, 30일 동안의 전이확률은 1단계 전이확률을 30번 곱하는(30제곱) 방식으로 'P%^%30'을 R에 입력해서 결과를 확인할 수 있다. 그 결과는 다음과 같다.

$$P^{30} = \begin{pmatrix} 0.04239116 & 0.14130386 & 0.22765622 & 0.5886488 \\ 0.00000000 & 0.04239116 & 0.14130386 & 0.8163050 \\ 0 & 0 & 0.04239116 & 0.9576088 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3-33}$$

식 (3-33)을 통해 현재 3개의 부품을 가지고 있는 경우 30일 후에 장비가 고장 상태에 있을 확률은 부품의 0개인 상태로 전이될 확률을 나타내는, 1행 4열의 원소인 0.5886466 이므로, 30일 후에도 장비가 운행중일 확률(신뢰도)은 0.4113512(=1-0.5886466)이다.³²⁾

32) 상태를 3,2,1,0 순으로 배열했으므로 1행이 상태 3, 2행이 상태 2, 3행이 상태 1, 4행이 상태 0을 나타낸다.

만약 3개의 부품으로 시작해서 30일 뒤에 남아 있는 부품의 수를 구해야 한다면 식 (3-33)의 1행의 원소들이 30일 후 남아 있는 부품수가 3개, 2개, 1개, 0개일 확률이므로 이 확률을 부품수에 곱해서 더하면 평균을 구할 수 있으며, 그 결과는 0.6374이다. 30일 뒤에는 작동하는 부품 수가 평균적으로 하나 이하가 된다는 의미이다. 이렇게 분석 결과를 필요한 척도로 바꾸는 것이 앞 절에서도 살펴본 성능척도를 구하는 절차이다.

(3) 연속시간 마코프 체인

지금까지 살펴본 마코프 체인은 이산시간(Discrete-time) 마코프 체인이었다. 그런데 고장이나 수리에 걸리는 시간이 평균 2일이나 4일이 아니라 12시간(1/2일)이나 6시간(1/4일)인 경우에는 지금까지와 같이 평균의 역수를 발생 확률로 정하고 매일 일어나는 방식으로 확률값을 정의할 수 없다. 12시간 마다 일어나는 경우에는 역수를 취하면 2가 되고, 이 값은 확률값이 될 수가 없다. 이런 경우에는 시간 단위를 일(Day)에서 시간(Hour)으로로 변경하여 12시간마다 일어나는 것을 1/12의 발생 확률로 매시간 일어날 수 있는 사건으로 모델링할 수도 있다. 그러나 발생횟수가 많은 경우에는 이산시간 마코프 체인으로 모델링하는 것 보다 연속시간(Continuous-time) 마코프 체인으로 모델링 하는 것이 간편할 수 있다. 이런 차원에서 사건이 발생하는 시간 간격이 짧은 경우에는 이산시간 마코프 체인보다 연속시간 마코프 체인을 활용하기도 한다. 그러나 결론적으로 두 방법은 동일한 분석결과를 제시하므로 편하고 익숙한 방법을 활용하면 된다.

하루에 평균 2번 고장이 발생하는 사건의 경우 연속시간 마코프 체인으로 모델링하기 위해서는 확률 대신에 발생율을 활용해야 한다. 하루에 2번 발생하므로 매일 2의 발생율을 가진다고 할 수 있다. 만약 고장 수리는 8시간이 걸린다고 하면 수리가 하루에 평균 3번 일어날 수 있으므로 수리율은 3이 된다. 이 전이율을 행렬로 표현하면 다음 식 (3-34)와 같다.

$$Q = \begin{bmatrix} -2 & 2 \\ 3 & -3 \end{bmatrix} \quad (3-34)$$

식 (3-34)의 1행 2열은 운행중(1)에서 수리중(2)으로 전이할 전이율을 2행 1열은 수리중(2)에서 운행중(1)으로 전이율을 나타낸다. 이산시간 마코프 체인의 전이확률과는 다르게 대각원소에 음수가 들어가 있고, 그 값은 행의 합을 0으로 만드는 값이다. 이산시간 마코프 체인에서는 대각원소는 행의 원소들이 확률이므로 모두 합하면 확률의 합이 1이 되도록 정해야 했다. 이에 반해서 연속시간 마코프 체인에서는 행의 합이 0이 되도록 해야 한다. 그

이유는 대각원소의 의미가 해당 상태에서 변화가 없는 비율을 나타내기 때문이다. 확률은 어떤 사건이 일어나지 않을 확률을 구할 때 일어날 확률을 1에서 빼면 되지만, 발생율이 2일 때 발생하지 않는 비율은 어떻게 표현해야 할까? 애매한 문제이다. 연속시간에서는 이를 수학적으로 음수로 표현한 것이라고 생각할 수 있다.

식 (3-34)를 전이율행렬³³⁾을 가지는 연속시간 마코프 체인의 n 일 뒤의 전이확률행렬은 다음 식을 통해서 구할 수 있다.³⁴⁾

$$P^{(n)} = e^{Q \cdot n} \quad (3-35)$$

식 (3-35)를 R에서 활용하기 위해서는 ‘expm’ 패키지가 필요하다. 이 패키지를 라이브러리로 부른 후³⁵⁾ ‘expm(Q*n)’을 실행하면 n 시점 후의 전이확률행렬을 계산할 수 있다. 연속시간 마코프 체인의 장점은 이산시간 모형과 달리 어떤 시간에 대한 전이확률행렬도 구할 수 있다는 점이다. 예를 들어 이산시간 모형에서는 0.7일 동안의 전이를 나타내는 전이확률행렬을 구할 수 없지만 연속시간 마코프 체인에서는 식 (3-35)에 n 대신 0.7을 입력하면 그 결과를 얻을 수 있다.

연속시간 마코프 체인은 여러 장점에도 불구하고 확률과 같은 직관적인 개념이 아니라 발생율과 음의 발생율과 같은 조금은 이해하기 어려운 값을 활용하고, 행렬을 인수로 갖는 지수함수(e^Q)를 사용해야 하는 등 이산시간 모형에 비해서 복잡한 수학적 배경을 가지고 있다. 이산시간 모형을 시간단위를 변경해서 발생횟수가 많은 경우를 표현할 수 있고, 결과적으로 안정상태확률은 이산시간이나 연속시간이나 동일하므로 실무에서는 복잡한 연속시간 모형을 활용하기보다는 직관적으로 이해가 쉬운 이산시간 모형을 활용하더라도 확률적 현상 분석에 충분할 것으로 여겨진다. 이를 직관적으로 확인하기 위해 식 (3-18)에 제시된 사례 1을 이산시간 마코프 체인으로 표현한 전이확률행렬을 행의 합이 0이 되도록 대각원소를 아래 식과 같이 바꾸고 ‘steady_stae(Q)’를 실행하면 사례 1과 동일한 ‘0.6 0.4’가 나오는 것을 확인할 수 있다. 즉, 연속시간은 이산시간 마코프 체인과 분석결과가 동일하다.

33) 이산시간 마코프 체인에서 전이확률행렬(Transition Probability Matrix)이었지만 연속시간에서는 확률이 아니고 발생율이므로 전이율행렬(Transition Rate Matrix)이라고 한다.

34) 이 식에 대한 상세한 논의는 본 연구의 범위를 넘어서므로 그냥 받아들이기로 한다. 상세한 논의는 윤봉규(2009)와 Ross(2019) 6장을 참고하기 바란다.

35) ‘library(expm)’을 실행해야 한다. 만약 한 번도 이 패키지를 설치하지 않았다면 식 (3-16)에 있는 명령을 먼저 수행해야 한다.

$$Q = \begin{pmatrix} -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (3-36)$$

식 (3-36)의 결과를 모든 마코프 체인으로 일반화 하면 다음 식 (3-37)과 같다.

$$P = I + Q \quad (3-37)$$

(I는 단위(항등)행렬임.)

식 (3-37)을 통해서 이산시간 마코프 체인의 전이확률행렬 P와 연속시간 마코프 체인의 전이율행렬 Q는 서로 변환 가능하다. 식 (3-36)의 결과도 식 (3-37)을 활용해서 구한 것이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 연속시간 마코프 체인과 이산시간 마코프 체인은 식 (3-37)을 통해서 변환하면 동일한 안정상태확률을 갖는다. 다시 말하면 이산시간 마코프 체인과 연속시간 마코프 체인은 하나의 결과를 알면 나머지 분석 결과를 다시 구할 필요가 없다. 다만, 식 (3-37)을 활용할 때 이산시간 마코프 체인으로 연속시간 마코프 체인으로 변환하는 것은 문제가 없는데, 반대의 경우에는 연속시간 마코프 체인의 각 행의 대각원소를 제외한 나머지 전이율의 합이 1보다 작거나 같아야 한다. 그 이유는 이산시간 마코프 체인의 전이확률행렬의 원소가 확률이기 때문이다.

전이율이 합이 1보다 큰 연속시간 마코프 체인은 전이율이 합이 가장 큰 행의 전이율의 합으로 마코프 체인의 모든 원소를 나누어 주면 모든 행의 전이율의 합이 1보다 작거나 같아지며, 이렇게 변환한 마코프 체인 역시 안정상태 확률은 동일하다. 결론적으로 모든 연속시간 마코프 체인은 동일한 안정상태 확률을 갖는 이산시간 마코프 체인이 쌍으로 존재한다고 말할 수 있다.³⁶⁾

36) 연속시간 확률변수와 이산시간 확률변수가 서로 동일한 성질을 가지는 쌍이 존재하는 것은 확률변수의 일반적인 특징이다. 매우 복잡한 확률적 현상이라고 하더라도 이산시간의 결과를 알면 연속시간 결과를 유도할 수 있음다. 그리고 그 반대도 가능하다. 이에 대한 엄밀한 이론적 연구는 Yoon&Chae(2003)에 제시되어 있으나, 난이도 높은 수학적 배경 지식을 요구하므로 여기에서는 R을 활용해서 이를 확인할 수 있는 다음 코드를 제시하는 것으로 대신한다.

```
# 임의의 마코프 체인 만들기
Q=matrix(round(runif(9,1,10)),nrow=3)
diag(Q) = 0
diag(Q) = -rowSums(Q)
Q
steady_state(Q)
```

3.5. 확률적 현상 분석 방법론 소개를 마치며

지금까지 우발적 현상을 표현하는 수리적 방법인 확률의 기본 개념과 이런 현상들을 분석하는 방법론인 마코프 체인에 대해서 살펴 보았다. 앞서 언급한 바와 같이 국방 관련 사업이 대형화되고 상호 관련성이 커짐에 따라서 우발적으로 발생하는 사건의 영향이 점점 커지고 있는 현 상황을 고려할 때, 우발적 현상을 다룰 수 있는 역량은 이 분야에 종사하는 사람들의 기본 소양이라고 할 수 있다. 그럼에도 확률적 현상을 분석하는 방법론은 다른 방법론에 비해서 상대적으로 난이도 높은 수학적 배경 지식을 요구하고 있어 전문가들의 전유물처럼 여겨지는 경우가 많았다. 그러나 다양한 라이브러리를 가지고 있는 R과 같은 컴퓨터 패키지의 보급이 확산됨에 따라서 방법론을 기초적이고 개념적으로만 이해하더라도 현실의 복잡한 현상을 분석할 수 있는 가능성이 확대되었다. 본 연구에서는 컴퓨터 패키지 확산의 효과를 충분히 활용하기 위해서 확률과 마코프 체인의 개념적인 소개를 토대로 실제 분석을 수행할 수 있는 코드를 제시하는 방식으로 확률적 현상을 다루는 방법을 소개했다.

확률과 마코프 체인을 소개하는 과정에서 이해가 쉬운 동전던지기를 중심으로 대부분의 배경 지식을 소개하여 이해를 돕고자 했으며, 수학적으로 엄밀한 논의를 이해하고자 하는 경우를 대비해서 중요한 개념에는 반드시 수학적으로 엄격하게 전개된 논의를 참고할 수 있는 문헌을 제시해 두었다. 또한 연속시간 마코프 체인과 이산시간 마코프 체인의 분석 결과가 동일하다는 것을 보여주고, 이산시간 마코프 체인의 전이확률행렬과 연속시간 마코프 체인의 전이율행렬을 서로 변환할 수 있음을 보였다. 그 결과 여기에서 주로 살펴본 직관적으로 이해하기 쉬운 이산시간 마코프 체인만 이해해도 충분하다는 것을 확인함으로써, 연속시간 마코프 체인의 분석 방법을 따로 익혀야 하는 번거로움을 덜 수 있다는 점을 제시했다.

여기에서 소개한 사례는 매우 간단하지만 조금만 확장해도 현실 문제를 다룰 수 있을 정도로 응용 가능성이 높은 사례이며, 독자가 사례가 너무 쉬워서 이런 것을 현실에 응용할 수 있을까 하는 의구심이 든다면 이 연구의 결과는 성공이라고 할 수 있다. 마코프 체인이라는 것이 여기에서 제시된 절차만 따른다면 누구라도 활용할 수 있는 방법론이므로 이 내용

각 행의 전이율 합이 1보다 작거나 같게 만들기

$Q = Q / \max(-\text{diag}(Q))$

Q

steady_state(Q)

이산시간 전이율 행렬 구하기

$P = \text{eye}(\text{size}(Q)[1]) + Q$

P

steady_state(P)

을 쉽게 느끼는 것이 당연하다. 다만, 다른 문헌에서는 이해가 쉬운 직관적 접근 대신 수학적 엄밀성을 추구했기 때문에 오히려 마코프 체인의 활용 가능성을 낮추었다. 이런 맥락에서 본 연구를 활용한다면 마코비안 모형을 활용한 연구를 수행하거나 관련 연구 결과를 활용할 수 있는 가능성을 확대할 수 있다. 이 연구를 통해 현업의 실무자들이 확률모형을 좀더 다양한 상황에 활용해서 관리의 품질이 높아지고 새로운 가치를 창출할 가능성을 높이기를 바란다.

IV. 국방사업 성과분석: R을 활용한 자료포락분석

4.1. 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)을 이용한 국방사업 성과관리

(1) 국방사업 성과관리의 목적: 효율성

방위사업청은 국방전력발전업무훈령, 국방정보화업무훈령에 따라 방위력개선사업의 “효율성”과 신뢰성을 도모하기 위하여 사업성과관리, 목표비용관리 및 무기체계 획득단계별 M&S 적용 관련 필요한 기준 및 절차 제공을 목적으로 “과학적사업관리 수행지침”을 정하고 있다.

본 연구의 목적은 방위력개선사업을 포함한 국방분야의 사업에 대한 효율성을 분석할 수 있는 방법론 중의 하나인 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)를 소개하는 것이다. 과학적사업관리 수행지침은 사업의 효율성과 신뢰성을 도모하기 위해 EVM, CAIV, 그리고 M&S 등 각종 과학적사업관리 방법론을 사용하도록 하고 있다. EVM은 사업 성과관리 방법론으로서 획득가치 개념을 정의하고 연구개발사업의 효율적인 비용 및 일정 관리를 목적으로 한다. CAIV(목표비용관리)는 연구개발사업의 목표비용을 설정하고, 이를 합리적으로 관리하는 것을 목적으로 한다. 그리고 M&S는 무기체계 및 핵심기술 연구개발 사업의 개념발전, 비용절감, 개발기간 단축, 사업 효율성 향상 등을 위해 M&S기반의 과학화된 획득관리를 적용하고, 구매사업간 M&S기술자료 획득 및 M&S를 활용하여 체계 성능 검증을 목적으로 한다(방위사업청, 과학적사업관리 수행지침, 방위사업청예규 제566호, 2019.9.18.).

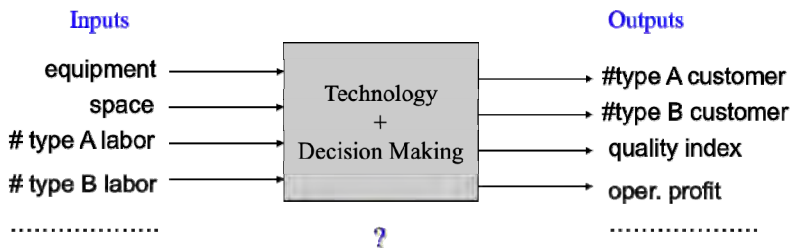
한편 국방개혁2.0은 4차 산업혁명 기술을 기반으로 한 ‘스마트 국방 혁신 강군’이라는 비전을 설정하고 국방운영·기술기반 혁신과 전력체계 혁신을 추진하고 있다. 이와 함께 로

봇과 자동화 정비 설비를 갖춘 스마트 팩토리 구축 등을 통해 국방자원관리의 효율성을 극대화 하고, 4차 산업혁명 기술을 적용한 무기체계를 확보해 군사력 건설을 가속화할 방침이다.(국방부 부처 업무계획, 2020.1.21.)

‘스마트한 국방’은 ‘효율적인 국방’으로 달리 표현할 수 있는데 효율성(efficiency)이란 어떤 일을 할 때 효율적으로 달성하고자 노력하고, 일의 효율을 계산하고, 경제적으로 효율이 높은 자원할당을 하는 업무와 관련이 된다. 학술적으로 효율성은 생산 활동에서 물리적인 투입과 산출의 비율로 정의하며 여러 가지 측정 방법이 있다. 크게 보면 통계적 기반의 효율성 측정 모델인 SFA(Stochastic Frontier Analysis)과 비통계적 기반의 효율성 측정 모델인 DEA(Data Envelopment Analysis)으로 구분해 볼 수 있다. 효율성 측정 모델에 공통적으로 적용되는 기본 개념은 <그림 4-1>에서 보는 바와 같이 생산단위(조직, 개인, 기업 등)가 투입(장비, 공간, 노동 등)된 자원을 이용하여 산출(고객 요구 제품 유형, 품질지수, 이윤 등)을 하는 경제활동에 있어서 적절한 기술과 의사결정을 하는 정도를 측정한 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 효율성 측정 모델로 DEA를 주요하게 다룰 것인데 SFA모델은 다수의 산출물이 있는 경우에 분석에 제한이 따른다. 최근 다수산출 SFA모형이 학술지에 소개되기는 했지만 일반화하기에는 가정과 조건에 대한 추가연구가 필요하다. 공공분야의 효율성 분석에 있어서는 다수의 목표를 달성하기 위한 생산활동이 고려될 필요가 있다는데서 DEA모형을 이해하는데 중점을 두고 내용을 기술하고자 한다.

<그림4-1>은 DEA모형이 다루는 생산활동에서의 투입과 산출을 도식하고 있는데 투입(input)으로서 장비, 공간, A/B 유형별 노동자 등을 고려하고 산출로서 A/B 유형의 소비자, 품질지수, 운영 이윤 등을 예시로 나타내고 있다.



<그림 4-1> DEA 모형의 투입과 산출

* 출처 : Ji & Lee(2009)

(2) 국방사업의 효율성 측정 방법론: DEA

일반에 공개된 전문학술지를 검색해 보면 DEA방법론을 이용한 효율성 분석에 관한 논문은 국내외로 10,000건 이상으로 집계되며³⁷⁾ 국방분야 응용에 대한 연구논문도 다수이다. 예를 들어 아래 목록은 국내 학술지에 게재된 국방사업의 효율성 분석 연구에 관한 논문들이다.

- 이형진. (2015). “국방핵심기술 R&D사업의 효율성 분석에 관한 연구.” 국내박사학위 논문 건국대학교, 서울.
- 임용환. (2020). 자료포락분석(DEA)을 활용한 국방 기초연구개발 사업의 효율성 분석. 한국산학기술학회논문지, 21(7), 517-524.
- 박승(Seong Park), 나중경(Joong kyung Na). (2015). DEA를 활용한 국방기술 연구 개발 효율성 분석. 경영연구, 30(3): 57-84.
- 임용환, 전정환. (2019) 자료포락분석을 활용한 국방핵심기술 연구개발사업의 성과 분석, 한국군사과학기술학회지, 22(1), 106-123.
- 오석현. (2018). 자료포락분석(DEA)을 활용한 방위산업체의 효율성 분석연구. 한국방위산업학회지, 25(1), 14-22.
- 최석철, 배운호. (2008). 국방특화연구센터의 효율성 분석 및 연구 성과 향상방안 연구. 한국군사과학기술학회지. 11(6). 117-125.
- 이경록, 이춘주. (2012). 무기체계 부품국산화의 혁신 효율성 분석에 관한 연구. 한국혁신학회지. 7(1). 29-49.
- 여현구, 이춘주. (2020). 국방 핵심기술 R&D 효율성 분석에 관한 연구: GSFA와 DEA의 적용을 중심으로. 한국혁신학회지. 15(4), 1-31.
- 이경록, 이춘주. (2014). 무기체계 부품국산화개발 성과평가 방법론 연구. 한국방위산업학회지 21(1), 211-231.
- 이경록, 임기중, 이춘주. 민군규격통일화사업 성과분석과 발전방향. 한국방위산업학회지. 19(1), 54-73.

DEA 방법론이 이론화 되는 단계에서 학술논문이 게재되었던 국제저널은 아래와 같이 정리할 수 있는데 1957년에 Farrell이 단일투입 단일산출에 대한 기술효율성 측정의 개념을 소개하고 1978년에 Charnes, Cooper, Rhodes가 의사결정단위의 효율성 측정을 일반화하는 수리프로그램의 최적화 기법을 제시한 이후 현재는 효율성과 관련한 주제를 다루는

37) Emrouznejad A. and G. Yang (2018) A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016, Socio-Economic Planning Sciences, 61(1): 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>.

다양한 학술지에서 DEA방법론을 활용하고 있다³⁸⁾.

- Economic Journal
- Productivity Measurement Review
- Journal of Royal Statistical Society
- Operational Research Quarterly
- Western Farm Economics Association Proceed.
- American Economic Review
- Journal of Economic Literature
- American Journal of Agricultural Economics
- Swedish Journal of Economics
- Journal of Political Economy
- Journal of Political Economy
- International Economic Review
- Swedish Journal of Economics
- Journal of Political Economy
- Journal of Political Economy
- Swedish Journal of Economics
- Zeitschrift für Nationaleconomie
- European Journal of Marketing
- Journal of Econometrics
- International Economic Review
- European Journal of Operations Research
- Journal of Economic Theory
- Economic Journal

DEA 방법론이 이론화 단계에 이르면서 DEA의 방법론과 응용에 국한해서 만들어진 학술지는 아래와 같다.

- Data Envelopment Analysis Journal <https://www.nowpublishers.com/DEA>
- International Journal of Data Envelopment Analysis and Operations Research <http://www.sciepub.com/journal/IJDEAOR>

38) A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, Measuring the efficiency of decision making units, European Journal of Operational Research, Volume 2, Issue 6, 1978, Pages 429-444.

- International Journal of Data Envelopment Analysis (IJDEA) <https://ijdea.srbiau.ac.ir/>

국내 국방분야의 전문학술지로는 1973년도에 국방부를 관할 관청으로 창간된 한국국방경영분석학회지(<https://morsk.jams.or.kr/co/main/jmMain.kci>)와 1998년도에 창간된 한국군사과학기술학회지(<https://www.kimst.or.kr/>)에서 DEA 관련 연구들을 찾아볼 수 있다.

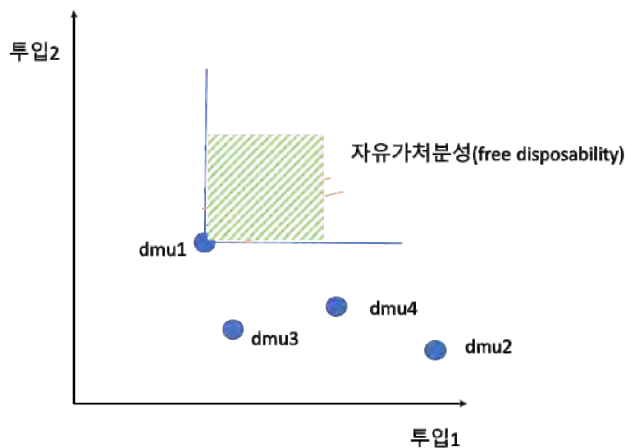
이러한 응용연구에 활용되고 있는 DEA는 어떤 개념으로 모형화 되고 만약 가정과 조건이 있다면 무엇인지와 현재까지 발전해온 모형은 어떠한 것이 있는지를 살펴보고자 한다.

4.2. 자료포락분석 모형

(1) 기본가정과 개념

DEA의 기본모형이라 불리는 CCR, BCC모형은 경제활동을 하는 생산단위에 대한 아래 몇 가지 가정을 도입하여 모형을 개발하였다.

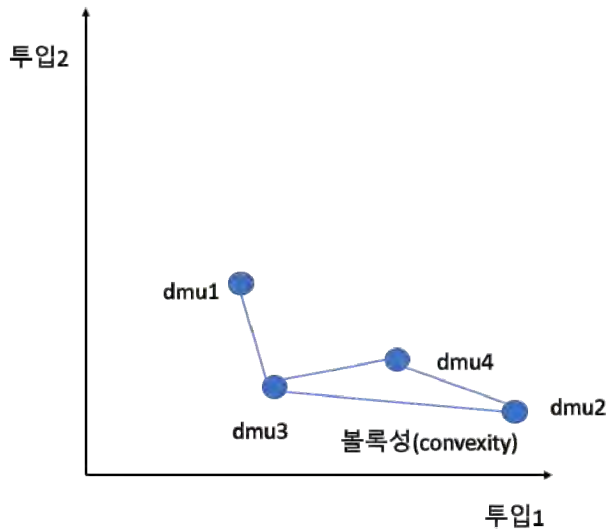
“자유가처분성(free disposability)”은 투입을 통해 산출을 하는 생산활동에서 특정 투입과 산출의 조합이 가능하다면, 투입을 늘리거나 산출을 줄였을 때 얻을 수 있는 새로운 투입과 산출의 조합도 정상적인 생산활동에서 가능하다는 것을 의미한다. 생각해보면 비록 투입을 늘려서 낭비하는 것이 비효율적인 생산활동을 하는 것이지만 생산이 가능한 것은 맞다.



〈그림 4-2〉 자유가처분성 가정

〈그림 4-2〉에서 생산활동을 하는 dmU1이 있다고 하면, 자유가치분성을 가정하면 투입1과 투입2가 증가하는 방향으로 빗금친 부분과 같이 확장한 (투입1, 투입2) 조합이 모두 생산가능하다는 것을 의미한다. dmU2-4에 대해서도 자유가치분성을 가정했을 때 생산가능 집합을 표현해 볼 수 있을 것이다.

“볼록성(convexity)”은 투입을 통해 산출을 하는 생산활동에서 관찰된 생산활동이 있을 때 관찰되지 않는 조합도 생산이 가능한 투입과 산출의 조합이라는 것을 의미한다. 실제로는 투입이나 산출에 해당하는 요소를 반쪽으로 나누거나 늘릴 수는 없지만 볼록성을 가정함으로써 분석적인 함의가 있고 무한히 분할이 가능하다는 가정을 완화하더라도 확장가능한 모형이라는 의미에서 가능한 가정이다[오동현, 이정동, 2012].

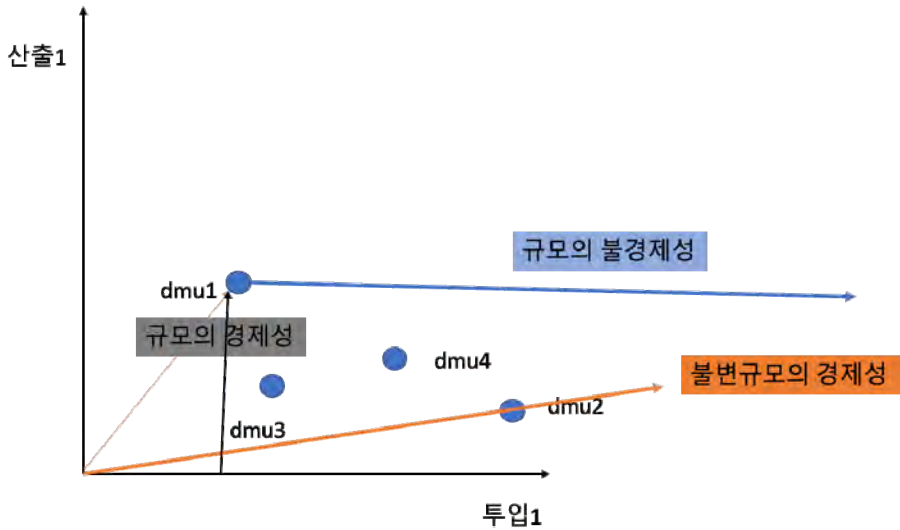


〈그림 4-3〉 볼록성 가정

〈그림 4-3〉에서 dmU1과 dmU3 사이에 선은 볼록성을 가정하였을 때 생산가능한 조합이 된다. dmU3과 dmU4간에 그려진 선도 마찬가지로 생산가능한 조합이다. 그렇다면 〈그림 4-3〉에 얼마나 많은 생산가능 조합을 그려 넣을 수 있을지를 생각해 보자. 직접 선을 그리다 보면 무수히 많은 선을 그릴 수 있다는 것을 알게 된다. 4개의 생산단위 dmU로 시작했지만 일단 여러번 생산가능조합의 선을 그리게 되면 그 선상의 어떤 점에서 다른 선으로 향하는 선을 그릴 수도 있는데 면은 무수한 선으로 구성되기 때문에 그러하다.

“규모의 수익(returns to scale)”을 가정한다. 규모의 수익은 불변규모수익, 가변규모수익, 규모의 불경제, 규모의 경제 등으로 세분화 할 수 있다. 불변규모수익(Constant

Returns to Scale; CRS)은 투입을 통해 산출을 하는 생산활동이 관찰되었다면 관찰된 투입과 산출을 동일한 비율로 늘리거나 줄이더라도 그 선상에 있는 모든 투입과 산출의 조합 또한 가능한 생산활동이라는 것을 의미한다. <그림 4-4>에서 dm_u2가 투입1, 투입2를 사용하여 산출을 하는 생산활동으로 관찰되었다면 원점에서 dm_u2의 관찰된 지점을 지나서 확장된 선상에 있는 모든 투입과 산출의 조합도 생산활동이 가능하다는 것이다.



<그림 4-4> 규모의 경제성 가정

<그림 4-4>에서 규모수익이 있는 규모의 경제성(Increasing Returns to Scale; IRS)은 dm_u1을 지나는 선중에 투입1 축과 만나는 선에 해당하고 규모의 불경제성은 산출1 축과 만나는 선에 해당한다. 그렇다면 <그림4-4>에 여러분도 규모의 불경제성, 규모의 경제성, 불변규모의 경제성에 해당하는 새로운 선을 그려볼 수 있을 것이다. 얼마나 많은 선을 그을 수 있을까? 여러분은 무수히 많은 선을 그릴 수 있을 것이다.

그리고 앞에서 가정한 자유가처분성과 볼록성을 <그림 4-4>에 적용해 보자. 여러분이 얻는 결과는 선의 연결로 만들어진 빗금 친 면이 될 것이다. 이렇게 그려진 면은 주어진 조건 하에 얻어진 생산가능집합이 된다.

이러한 기본가정을 적용하거나 완화함으로써 형성되는 DEA의 모형들이 있는데 아래에서는 기본가정과 효율성 개념을 적용하여 개발된 DEA 기본모형에 대해서 알아본다.

(2) 기본모형: CCR, BCC모형

가. 모형 개요

효율성을 측정하는 DEA 기본모형은 <그림 4-5>와 같이 수리적으로 표현된다. 기본모형의 수리적 표현식을 보면 전형적인 선형계획법의 형태를 띠고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 기본모형 또한 선형계획법에서 다루는 원형모형과 쌍대모형의 형태로 primal, dual로 구분된다. 효율성을 측정하는 옵션인 orientation은 투입자원을 고정하고 산출을 최대화하는 문제로 할 것인지 반대로 산출을 일정수준에 고정하고 투입을 최소화 하는 문제로 할 것인지를 표현한다. 현재는 기본가정과 효율성 측정의 접근방식에 있어서 다양한 문제특성을 반영하여 여유분모형(SBM: slack based model), 자유가처분모형(FDH: free disposal hull), 가상가격모형(virtual price model), 이윤모형(profit efficiency model), 분배모형(allocative efficiency model) 등 다양한 DEA 방법론이 개발되어 있고 확장성을 유지하고 있다.

Orientation	Primal	Dual
Input Oriented	$\begin{aligned} \max \quad & z = uy_j - (u_j)^* \\ \text{s.t.} \quad & vx_j = 1 \\ & -vX + uY - (u_j e)^* \leq 0 \\ & v \geq 0, u \geq 0, (u_j \text{ free in sign})^* \end{aligned}$	$\begin{aligned} \min \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_j - X\lambda \geq 0 \\ & Y\lambda \geq y_j \\ & (e\lambda = 1)^* \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$
Output Oriented	$\begin{aligned} \min \quad & z = vx_j - (v_j)^* \\ \text{s.t.} \quad & uy_j = 1 \\ & vX - uY - (v_j e)^* \geq 0 \\ & v \geq 0, u \geq 0, (v_j \text{ free in sign})^* \end{aligned}$	$\begin{aligned} \max \quad & \eta \\ \text{s.t.} \quad & x_j - X\lambda \geq 0 \\ & \eta y_j - Y\lambda \leq 0 \\ & (e\lambda = 1)^* \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$

<그림 4-5> DEA의 CCR 기본모형

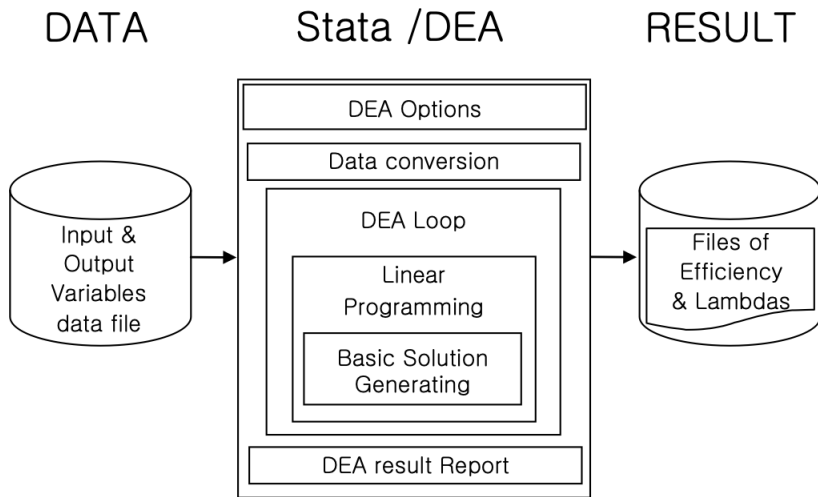
* 출처 : Ji & Lee(2009)

<그림 4-5> DEA의 기본모형을 보면 목적함수가 max, min로 표현되고 제약식이 s.t.로 주어진 전형적인 최적화 모형이다. primal로 주어진 원형모형의 해를 구하거나 dual 쌍대모형으로 풀이를 해서 효율성에 관한 해를 얻을 수 있다. orientation은 효율성을 측정하는 접근법을 구분하고 있는데 input oriented는 산출을 고정하고 투입을 얼마나 줄일 수 있을지를 기준으로 효율성을 측정하고, output oriented는 투입이 고정되어 있을 때 산출을 얼마나 더 늘릴 수 있는지를 기준으로 효율성을 측정하는 개념이다. 여기서 늘리고 줄이

는 값이 효율성 값인데 쌍대모형 수식에서는 θ, η 로 표현되어 있다. 본 자료에서는 방법론의 응용에 대한 소개를 주요 목적으로 하므로 수리적인 표현식에 대한 것은 기초적인 이해를 돕기 위한 개념을 설명하는 것으로 대신한다.

DEA 기본모형에 대하여 컴퓨터를 이용한 자료분석은 아래 <그림4-6>에서 보듯이 자료(data)에 관한 관리, 분석도구를 이용한 모델(Stata/DEA 또는 R), 그리고 사용자가 원하는 분석결과를 출력하는 것으로 구성된다. 본 연구에서는 R프로그램을 이용하여 모형을 설명하는데 추후 연구자가 직접 프로그램을 작성하고 분석하고자 할 때 활용할 수 있는 도구로써 Stata를 이용한 DEA가 구현이 가능하다는 것을 밝힌다.

<그림 4-6>에서 DEA분석을 위한 데이터를 준비하고, 만약 Stata를 사용해서 DEA분석을 수행한다면 모형의 옵션을 설정하고 모형별로 요구되는 데이터 형식으로 변환하여 명령을 수행할 수 있다. 이때 프로그램은 <그림 4-5>의 수학적 모델을 구현하도록 컴퓨터 코드로 작성된 것인데 반복적인 선형계획법의 적용과 결과파일로 변환하여 얻는 것이 주요한 알고리즘이다.

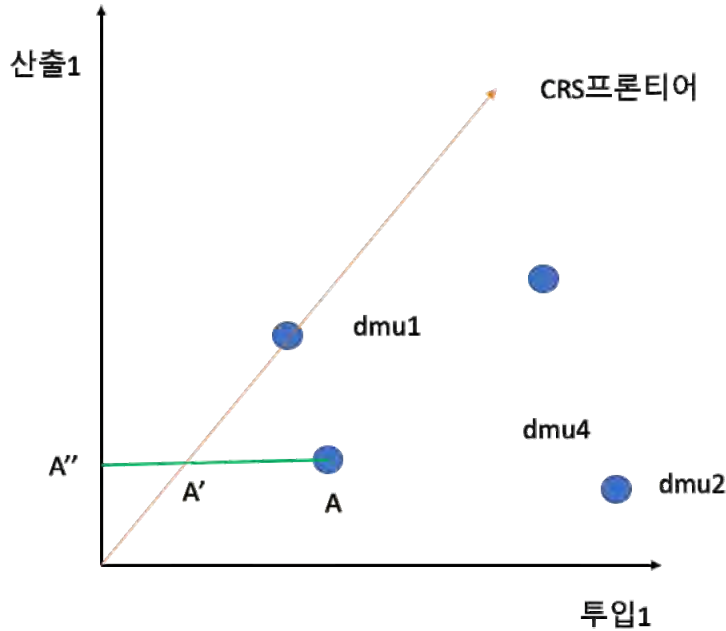


<그림 4-6 > 컴퓨터를 활용한 DEA의 예시

* 출처 : Ji & Lee(2009)

<그림 4-7>은 투입기준 CCR모형에서 효율성을 측정하는 방법을 소개하고 있다. 생산활동 A는 CRS 프론티어(생산변경)의 내부에 위치하기 때문에 이론적으로 가능한 생산활동이지만 비효율적인 생산활동을 하고 있다. 즉, A에서 투입하는 양을 A'가 투입하는 양으로

줄여서 동일한 수준의 산출량을 생산하는 것이 바람직하다. 따라서 효율성값으로 $\theta = \frac{A'A''}{AA''}$ 을 계산할 수 있다. 이렇게 측정된 효율성값은 산출을 고정하고 투입을 프론티어로 줄이는 것을 고려하여 계산한 것이다. 마찬가지로 효율성의 측정에서 투입을 일정수준에 고정하고 산출량을 얼마나 늘릴 수 있는지에 대하여 효율성값을 계산해 볼 수 있을 것이다.



〈그림 4-7〉 투입기준 CCR모형에서 효율성 값

식(4-1)은 투입기준 가변규모수익을 가정한 BCC DEA 쌍대모형의 수리적 표현이다. CCR모형과 차이가 나는 부분은 제약조건 세 번째에 해당하는 가중치합이 1이 되도록 한다는 것이다. CCR은 가중치합에 대한 제약을 가하지 않았기 때문에 어떠한 양의 값도 가질수 있었지만 BCC모형에서는 가중치합이 1로 제약됨으로써 문제풀이에 영향을 미치게 된다. 결과적으로 이 제약은 생산변경을 도출할 때 관찰된 자료의 자유가치분성과 볼록성을 가정하고 비효율적인 생산단위가 효율적으로 되기 위해 택할 수 있는 생산단위를 제한한다. 그리고 규모의 경제성에 있어서 불변규모경제, 규모의 비경제, 규모의 경제가 있는 구간으로 변동이 되어서 가변규모수익(VRS: variable returns to scale) 모형이라고 불린다. 이때 생산변경의 모양은 〈그림 4-8〉과 같이 그려진다.

$$\begin{aligned}
 &\theta^* = \text{Min } \theta_k \\
 &s.t. \\
 &y_{mk} \leq \sum_{j=1}^J z_j y_{mj} \quad (m=1, \dots, M) \\
 &\theta_k x_{nk} \geq \sum_{j=1}^J z_j x_{nj} \quad (n=1, \dots, N) \\
 &\sum_{j=1}^J z_j = 1 \\
 &z_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, J)
 \end{aligned}
 \tag{4-1}$$

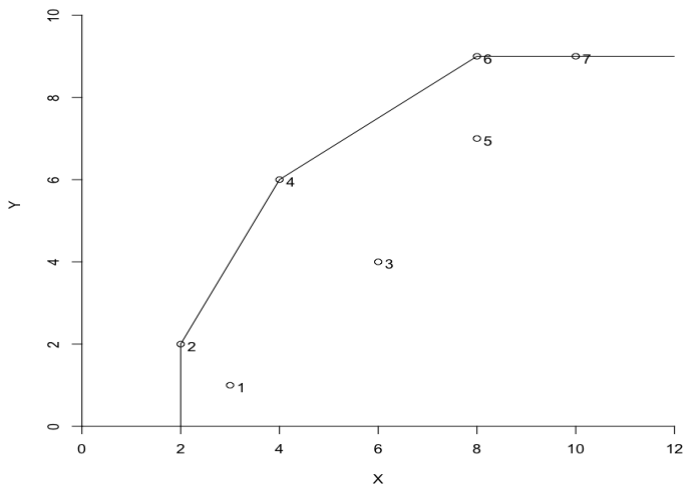
나. 적용 예시

앞에서 설명한 투입기준 CCR 기본모형을 적용하여 컴퓨터로 해를 구해보자. 아래 표는 1투입-1산출의 경우에 대하여 7개의 관측점에 대하여 투입산출자료가 주어져 있는 경우이다.

〈표 4-1〉 투입산출 값

관측치	A	B	C	D	E	F	G
x	3	2	6	4	8	8	10
y	1	2	4	6	7	9	9

위 자료들을 x-y 평면에 표시하면 아래 〈그림 4-8〉과 같다. 〈그림 4-8〉에서 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7은 생산활동 A, B, C, E, F, G를 각각 의미한다. 생산활동 2, 4, 6, 7 즉 B, D, F, G는 생산변경에 있고 1, 3, 5 즉 A, C, E는 생산가능집합 내부에 위치하고 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 4-8〉 VRS 생산변경 가정하에서 투입산출 값의 도식

R프로그램에서 가용한 DEA 프로그램은 nonparaeff, Benchmarking 등이 가용한데 Benchmarking패키지를 이용한 Data Envelopment Analysis 실행하는 명령어는 다음과 같다. Benchmarking 패키지를 설치하는 방법은 4.3절을 참고하기 바란다.

```
x, y에 투입량, 산출량을 매트릭스 형태로 입력한다.
> x <-matrix(c(3,2,6,4,8,8,10),ncol=1)
> y <-matrix(c(1,2,4,6,7,9,9),ncol=1)
```

Benchmarking패키지 명령어인 dea를 이용하여 실행하고 그 값을 e에 저장한다. Benchmarking은 디폴트로 가변규모, 투입기준을 조건으로 분석한다.

```
> e <-dea(x,y)
```

e에 저장된 값 중에서 효율성 값을 작업창에 나타낸다. 결과값에서 B, D, F가 효율성값 1을 가져서 효율적이라는 것을 알 수 있다. G는 생산변경에 있지만 투입에 대한 여유분이 존재해서 효율성값은 0.8을 갖는다.

```
> eff(e)
[1] 0.6667 1.0000 0.5000 1.0000 0.6667 1.0000 0.8000
```

R프로그램의 일반 명령어인 print를 사용하여 효율성 값을 화면에 출력하도록 명령할 수 있다.

```
> print(e)
[1] 0.6667 1.0000 0.5000 1.0000 0.6667 1.0000 0.8000
```

lambda(e)를 사용하여 저장되어 있는 참조집합의 가중치 정보를 얻을 수 있다. L2, L4, L6는 참조가 되는 생산활동으로서 B, D, F를 의미한다. [1,]은 첫 번째 생산활동 관측치인 A를 의미하므로 A는 효율성값 0.6667을 가져서 비효율적인데 효율적인 프론티어로 가려면 B를 가중치 1로 참조해야 한다는 것을 말한다.

```
> lambda(e)
      L2      L4      L6
[1,] 1.0 0.0000000 0.0000000
[2,] 1.0 0.0000000 0.0000000
[3,] 0.5 0.5000000 0.0000000
```

```
[4,] 0.0 1.0000000 0.0000000
[5,] 0.0 0.6666667 0.3333333
[6,] 0.0 0.0000000 1.0000000
[7,] 0.0 0.0000000 1.0000000
```

summary()명령어를 사용해서 계산결과에 대한 요약정보를 확인할 수 있다. 아래 정보로부터 VRS 투입기준 효율성 값을 구한것이고 7개 생산단위에서 3개가 효율적이며, 평균 효율성값은 0.805이고 효율성값은 구간별로 아래에 보는 바와 같이 분포되어 있다는 것을 알 수 있다.

```
> summary(e)
Summary of efficiencies
VRS technology and input orientated efficiency
Number of firms with efficiency==1 are 3 out of 7
Mean efficiency: 0.805
---
Eff range      #  %
0.4<= E <0.5   0  0
0.5<= E <0.6   1 14
0.6<= E <0.7   2 29
0.7<= E <0.8   0  0
0.8<= E <0.9   1 14
0.9<= E <1     0  0
      E ==1     3 43
      Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.5000  0.6667  0.8000  0.8048  1.0000  1.0000
```

산출기준 효율성값을 분석하기 위해 명령어의 옵션을 변경하여 적용할 수 있다. 즉, 아래와 같이 orientation = 2로 지정하여 산출기준 효율성 값을 계산할 수 있다. 산출기준 효율성값이 1이면 효율적인 것이고 1보다 크면 비효율적이라는 것을 의미한다.

```
> e <-dea(x,y, ORIENTATION = 2)
> e
[1] 4.000 1.000 1.875 1.000 1.286 1.000 1.000
```

위 결과에 따르면 산출기준 효율성 값에서 생산단위 B, D, F, G가 효율적이다. 투입기준에서 G는 효율적이지 않았지만 산출기준에서는 효율적이라고 나타난 이유는 <그림 4-8> 그래프에서 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 즉, 생산단위 G는 동일한 투입수준에서 더 이상 산출값을 늘릴 수 없다는 것을 알 수 있다.

프로그램에서 적용하고 있는 규모수익(rts: returns to scale)옵션은 다음과 같다. 각 행의 첫 번째로 적힌 숫자와 숫자에 이어서 적힌 문자는 명령어에서 옵션을 지정하는 방법에 해당한다.

예를들어 기본 디폴트로 가변규모수익이 적용되는데 명령어에 명시적으로 이를 적용하는 방법으로는 다음과 같이 두 가지 방법으로 가능하다. 결과값이 동일하다는 것을 알 수 있다.

```
> e <-dea(x,y,RTS = "vrs", ORIENTATION = 1) #방법1
> e
[1] 0.6667 1.0000 0.5000 1.0000 0.6667 1.0000 0.8000
```

```
> e <-dea(x,y,RTS = 1, ORIENTATION = 1) #방법2
> e
[1] 0.6667 1.0000 0.5000 1.0000 0.6667 1.0000 0.8000
```

- 0 fdh Free disposability hull, no convexity assumption
- 1 vrs Variable returns to scale, convexity and free disposability
- 2 drs Decreasing returns to scale, convexity, down-scaling and free disposability
- 3 crs Constant returns to scale, convexity and free disposability
- 4 irs Increasing returns to scale, (up-scaling, but not down-scaling), convexity and free disposability
- 5 irs2 Increasing returns to scale (up-scaling, but not down-scaling), additivity, and free disposability
- 6 add Additivity (scaling up and down, but only with integers), and free disposability; also known as replicability and free
- 7 fdh+ A combination of free disposability and restricted or local constant return to scale
- 10 vrs+ As vrs, but with restrictions on the individual lambdas via param

마찬가지로 불변규모수익을 가정할 때 아래와 같이 효율성값을 얻을 수 있다.

> e <-dea(x,y,RTS = "crs", ORIENTATION = 1) #방법1

> e

[1] 0.2222 0.6667 0.4444 1.0000 0.5833 0.7500 0.6000

> e <-dea(x,y,RTS = 3, ORIENTATION = 1) #방법2

> e

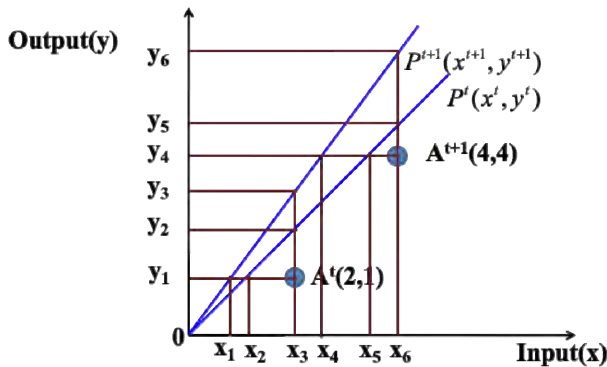
[1] 0.2222 0.6667 0.4444 1.0000 0.5833 0.7500 0.6000

(2) DEA를 이용한 생산성변화 모형

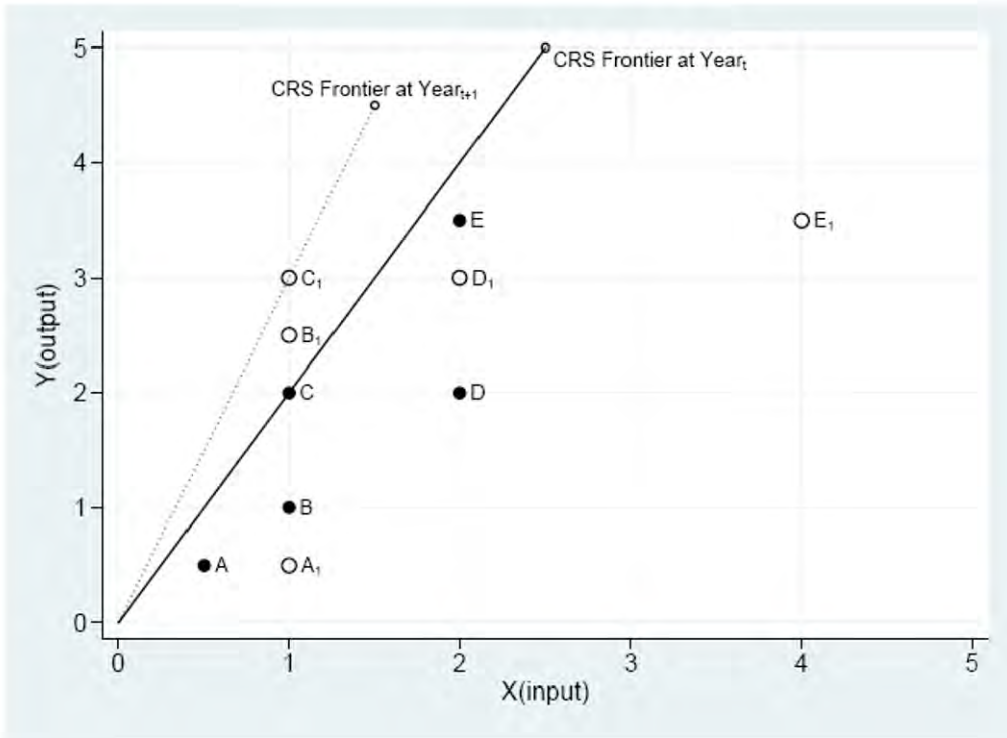
가. 모형 개요

만약 시간의 변화에 따르는 생산활동의 패널자료가 가용하다면 생산성변화, 효율변화, 그리고 기술변화를 측정할 수 있다. 대표적인 모형으로 DEA생산변경을 이용한 Malmquist index에 관한 것이다. <그림 4-9a, b>는 DEA를 이용한 생산성변화 측정 개념을 나타낸다. 만약 패널분석자료가 t기와 t+1기에 대하여 가용하고 이때 관찰된 생산활동이 A^t, A^{t+1}로 주어져 있다면 (식4-2)는 생산성변화를 측정하는 수식을 나타낸다. 즉, t기에 관찰된 A의 산출/투입 비율과 t+1기에 관찰된 산출/투입 비율의 변화를 측정한 것이 된다.

$$\frac{\frac{\overline{oy_1}}{ox_3}}{\frac{\overline{oy_4}}{ox_6}} = \frac{\overline{oy_1}}{oy_4} \frac{\overline{ox_6}}{\overline{ox_3}} \tag{4-2}$$



<그림 4-9a> DEA를 이용한 생산성변화 측정 개념



〈그림 4-9b〉 DEA를 이용한 생산성변화 측정 개념

식(4-3)은 식(4-2)를 DEA의 효율성 측정 개념을 적용하여 맘퀴스트 생산성 지수 (Malmquist index) 수식으로 표현한 것이다. 수식의 도출과정에 관한 자세한 내용은 Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994). “Productivity Growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries“, American Economic Review, 84(no.1), pp.66-83.과 Lee et.al.(2011)에 기술되어 있다.

$$M_I^G = (ECH_I \cdot TCH_I^G) = \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \cdot \left[\left(\frac{E_I^t(x^t, y^t)}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \cdot \left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \right]^{1/2} \quad (4-3)$$

나. 적용 예시

DEA를 이용한 맘퀴스트 생산성지수 분석은 어떠한 DEA모형을 적용하느냐에 따라서 옵션의 선택이 달라진다. 아래 예시는 네 개의 생산단위가 t기와 t+1기에 걸쳐서 하나의 투입 (x)요소를 이용하여 하나의 산출(y)을 하는 생산활동에 관한 것이다.

먼저 데이터를 입력한다.

```

> x0 <- matrix(c(10, 28, 30, 60),ncol=1)
> y0 <- matrix(c(5, 7, 10, 15),ncol=1)
> x1 <- matrix(c(12, 26, 16, 60 ),ncol=1)
> y1 <- matrix(c(6, 8, 9, 15 ),ncol=1)

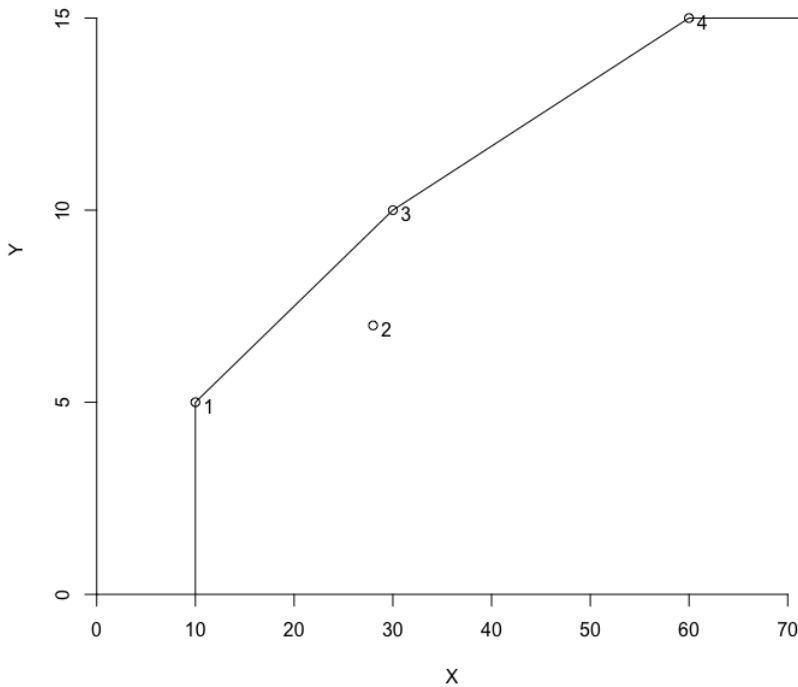
```

입력한 데이터에서 t기에 대한 자료를 가변규모수의 생산변경에 대하여 그래프로 표현하면 아래와 같다.

```

> dea.plot(x0, y0, RTS="vrs", txt=TRUE)

```



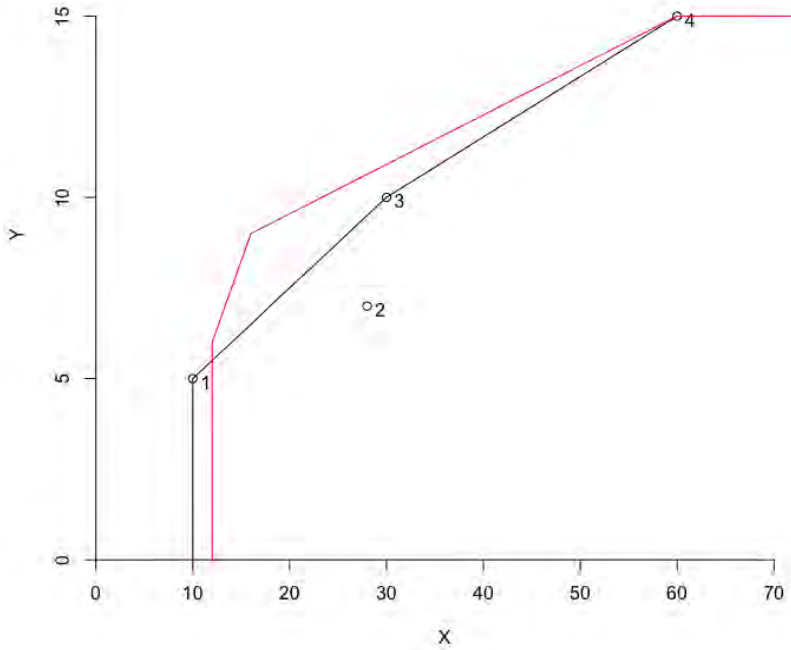
t+1기에 대한 자료를 추가하여 아래와 같이 그래프로 표현해 볼 수 있다.

먼저 가변규모수의 생산변경을 도식하였다.

```

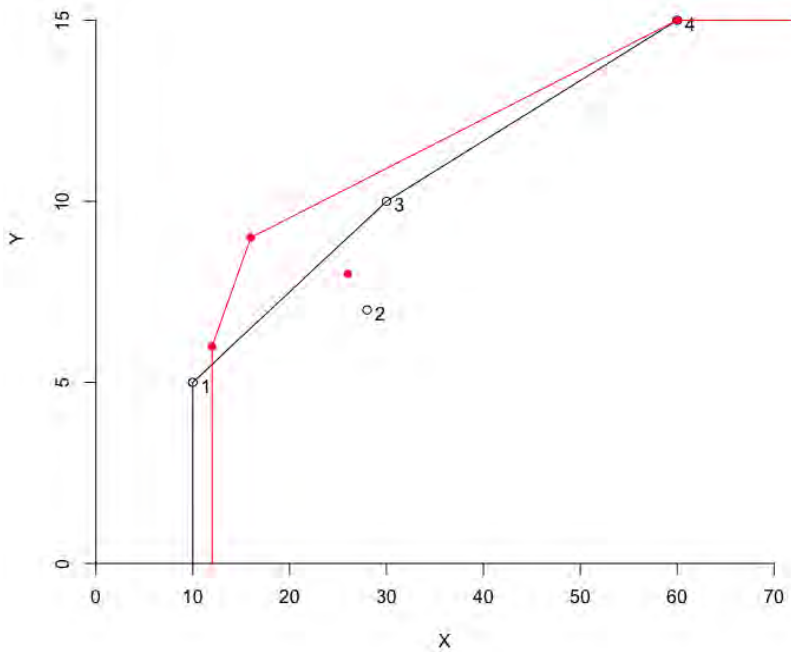
> dea.plot(x1, y1, RTS="vrs", add=TRUE, col="red")

```



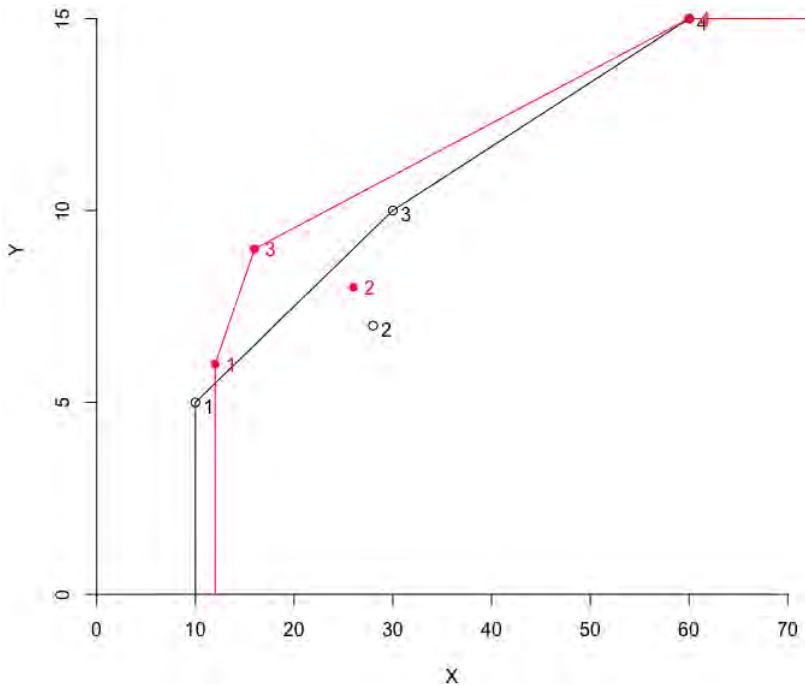
t+1기에 관찰된 자료를 추가하여 점으로 표시하였다.

> points(x1, y1, col="red", pch=16)



t+1기에 관찰된 투입산출 생산단위 명칭을 그래프에 나타내었다.

```
> text(x1, y1, 1:dim(x1)[1], col="red", adj=-1)
```



가변규모수의 조건으로 생산성변화를 측정하면 아래와 같다.

```
> m <- malmq(x0,y0,,x1,y1,,RTS="vrs")
> print("Malmquist index for change in productivity, technology change:")
[1] "Malmquist index for change in productivity, technology change:"
```

결과값을 확인하는 방법으로 아래와 같이 가능하다.

```
> print(m$mq)
[1] 0.9860133 1.2486943 1.4454362 1.0000000
```

```
> print("Index for change of frontier:")
[1] "Index for change of frontier:"
```

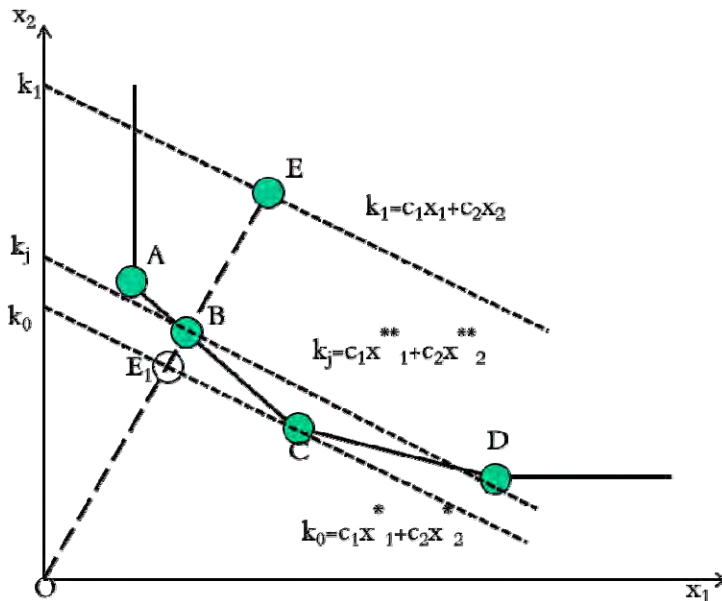
```
> print(m$tc)
[1] 0.9860133 1.4230249 1.4454362 1.0000000
```

위 결과에 따르면 생산단위 1은 생산성이 감소되었고 4는 t기의 생산성 수준을 t+1기에 도 유지하였고, 나머지 대개의 생산단위는 생산성을 향상시켰다.

(3) 배분효율성 모형

가. 모형 개요

만약 생산활동에 사용하는 투입요소의 단위가격과 산출요소의 단위가격을 알고 있다면 자원의 배분이 얼마나 효율적으로 배분되는지를 분석할 수 있다. <그림 4-10>은 x_1 , x_2 두 개의 투입요소를 이용하여 산출을 하는 생산활동에 대한 배분효율성 모형의 개념을 도식화 한 것이다. 예를들어 생산활동 E은 투입비용함수 k_1 으로 생산을 하고 있는데 B의 경우에는 k_1 보다 낮은 투입비용 k_j 로서 동일한 산출을 하고 있다. 또한 C의 경우는 k_j 보다 낮은 투입비용 k_0 으로 동일한 산출을 하고 있다. 그런데, 기존의 CCR, BCC모형을 적용하면 B와 C는 동일하게 효율적이라고 평가가 되지만 배분효율성 개념을 적용할때는 이를 구분하여 차별화 할 수 있다. 즉, 식(4-4~6)의 개념으로 적은 비용으로 동일한 산출을 얻은 생산활동에 대해서 배분효율성 값을 높게 책정하는 방식이 가능하다.



<그림 4-10 > 배분효율성 모형의 개념

* 출처 : Lee, C.(2012)

$$0 \leq \frac{k_0}{k_1} = \frac{\sum_{i=1}^M c_i x_i^*}{\sum_{i=1}^M c_i x_i} = \frac{d(O, E_1)}{d(O, E)} \leq 1 \quad (4-4)$$

$$0 \leq \frac{k_j}{k_1} = \frac{\sum_{i=1}^M c_i x_i^{**}}{\sum_{i=1}^M c_i x_i} = \frac{d(O, B)}{d(O, E)} \leq 1 \quad (4-5)$$

$$0 \leq \frac{k_0}{k_j} = \frac{\sum_{i=1}^M c_i x_i^*}{\sum_{i=1}^M c_i x_i^{**}} = \frac{d(O, E_1)}{d(O, B)} \leq 1 \quad (4-6)$$

(식4-7)은 배분효율성 모형을 수식으로 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} k_0 = \mathbf{c}\mathbf{x}^* &= \min_{\mathbf{x}, \lambda} \sum_{i=1}^M c_i x_i \\ \text{s.t.} \\ x_i &\geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j (\text{input } m = 1, 2, \dots, M) \\ y_0 &\leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j (\text{output } n = 1, 2, \dots, N) \\ \lambda^j &\geq 0 (j = 1, 2, \dots, J), \\ \text{where } c_i &\text{ is unit input price or unit cost of } i\text{th input.} \end{aligned} \quad (4-7)$$

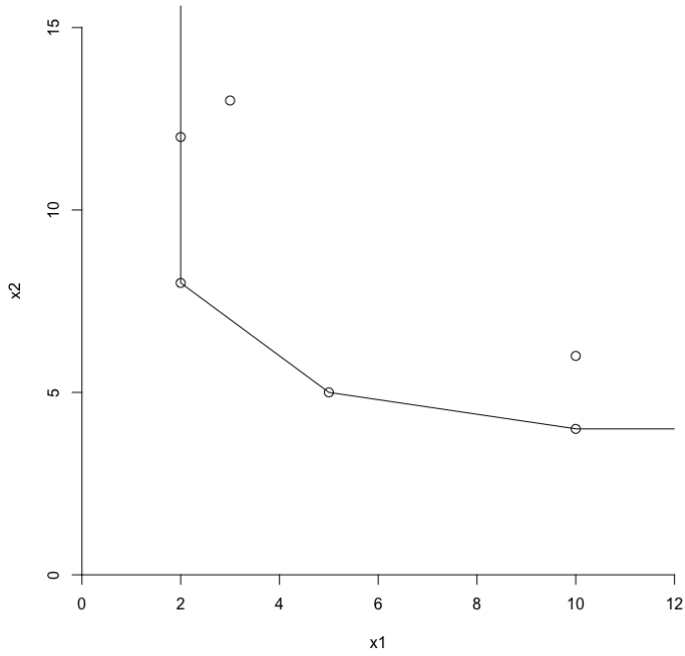
나. 적용 예시

x투입, y산출, w단위비용-가격 자료를 이용하여 다음과 같이 입력한다.

```
> x <- matrix(c(2,12, 2,8, 5,5, 10,4, 10,6, 3,13), ncol=2, byrow=TRUE)
> y <- matrix(1, nrow=dim(x)[1], ncol=1)
> w <- matrix(c(1.5, 1), ncol=2)
```

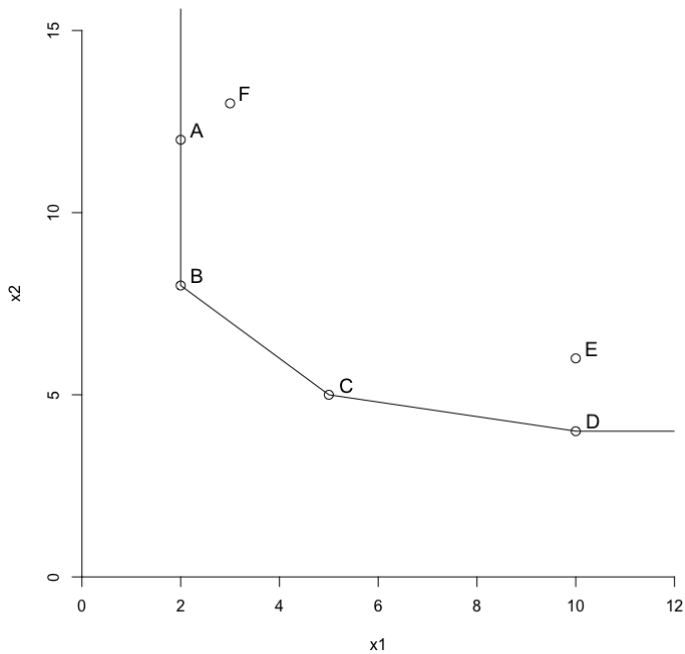
투입, 산출 값과 생산변경 정보를 그래프로 그려본다.

```
> txt <- LETTERS[1:dim(x)[1]]
> dea.plot(x[,1], x[,2], ORIENTATION="in", cex=1.25)
```



그래프에 생산단위용 명칭을 기록할 수 있다.

> text(x[,1],x[,2],txt,adj=c(-.7,-.2),cex=1.25)



가변규모수의 조건으로 기술효율성을 분석하면 아래와 같다.

```
> te <- dea(x,y,RTS="vrs")
> te
[1] 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.7500 0.6667
```

최적 투입량을 구해볼 수 있다.

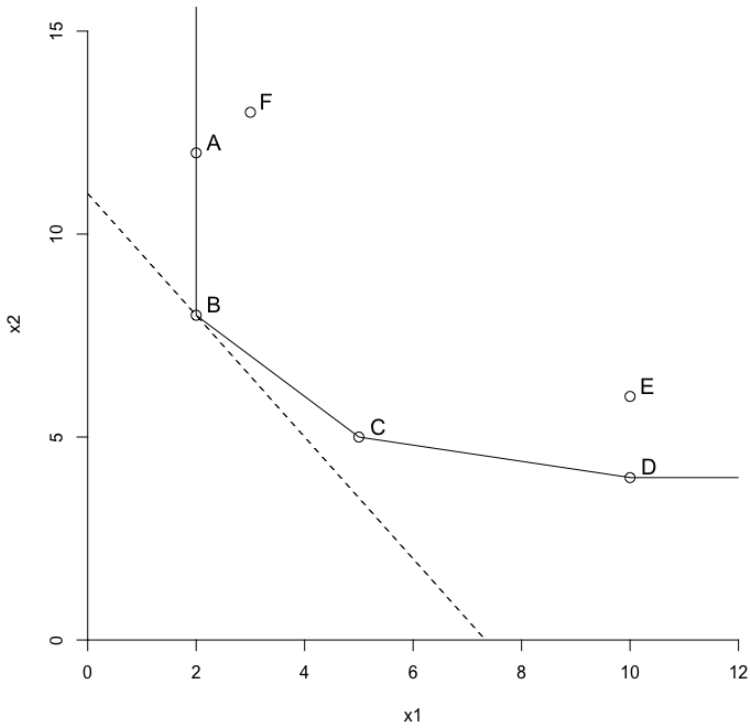
```
> xopt <- cost.opt(x,y,w,RTS=1)
> xopt
      [,1] [,2]
[1,]    2    8
[2,]    2    8
[3,]    2    8
[4,]    2    8
[5,]    2    8
[6,]    2    8
```

비용효율성 값은 아래와 같이 구해볼 수 있다.

```
# cost efficiency
> ce <- copt/cobs
> ce
      [,1]
[1,] 0.7333333
[2,] 1.0000000
[3,] 0.8800000
[4,] 0.5789474
[5,] 0.5238095
[6,] 0.6285714
```

결과로부터 생산단위 B만 유일하게 비용효율적이라는 것을 알 수 있다. 이 결과는 아래와 같이 비용곡선을 그려봄으로써 시각적으로 확인할 수 있다.

```
# isocost line in the technology plot
> abline(a=copt[1]/w[2], b=-w[1]/w[2], lty="dashed")
```



배분효율성은 비용효율성값을 기술효율성값으로 나누어서도 구할 수 있다.

```

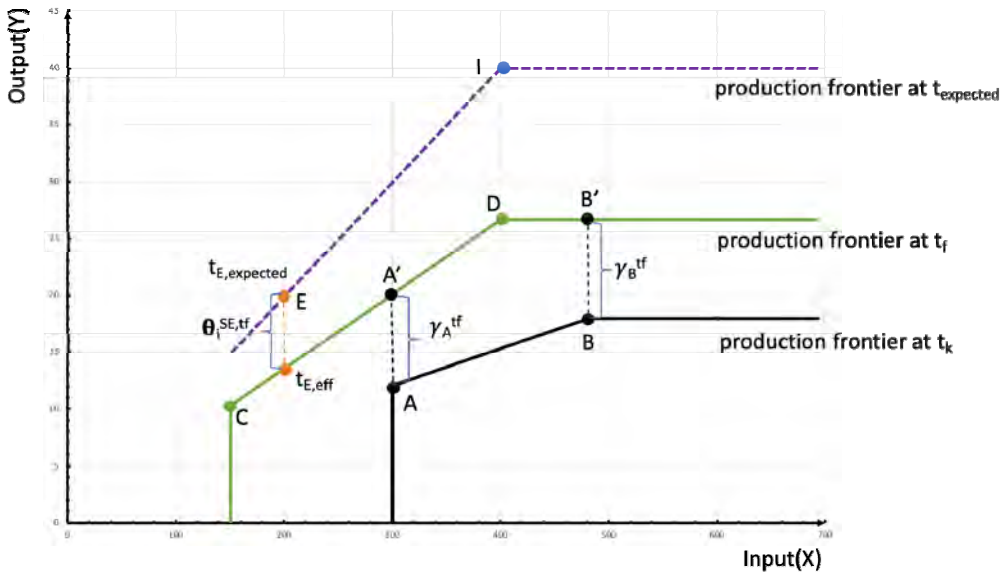
> # allocative efficiency
> ae <- ce/te$eff
> data.frame("ce"=ce,"te"=te$eff,"ae"=ae)
      ce      te      ae
1 0.7333333 1.0000000 0.7333333
2 1.0000000 1.0000000 1.0000000
3 0.8800000 1.0000000 0.8800000
4 0.5789474 1.0000000 0.5789474
5 0.5238095 0.7500000 0.6984127
6 0.6285714 0.6666667 0.9428571
> print(cbind("ce"=c(ce),"te"=te$eff,"ae"=c(ae)),digits=2)
      ce te ae
[1,] 0.73 1.00 0.73
[2,] 1.00 1.00 1.00
    
```

- [3.] 0.88 1.00 0.88
- [4.] 0.58 1.00 0.58
- [5.] 0.52 0.75 0.70
- [6.] 0.63 0.67 0.94

(4) DEA를 이용한 기술예측 모형

가. 모형 개요

Inman et. al.(2006)이 제안한 TFDEA 기술예측 모형은 DEA생산변경의 변화율을 측정하여 미래에 실현될 것으로 예상되는 기술성능을 예측하는 방법론이다. <그림 4-11>은 기술출시 당시인 t_k 기의 생산변경, 현재 시점인 t_f 기의 생산변경, 미래 예측하고자 하는 기술이 구현될 시점인 $t_{expected}$ 의 생산변경을 도식하고 있다. 기술변화율(γ)은 기술출시 당시에 생산변경에 있다가 현재 시점에는 생산변경의 내부에 위치하는 관측치를 식별하고 그 변화정도를 반영하여 도출한다. 그리고 도출된 기술변화율을 이용하여 예측하고자 하는 기술의 미래 구현시기를 계산하는 방법이다. 구체적인 방법론에 대한 이해는 김현철 등(2016)를 참조하기 바란다.



<그림 4-11> TFDEA의 개념

나. 적용 예시

R에서 TFDEA를 활용하기 위해서는 TFDEA 패키지 설치가 필요하다.

아래와 같이 패키지를 설치하고 불러오기 한다.

```
> install.packages("TFDEA")
> library(TFDEA)
> help("TFDEA")
```

inman(2004)를 이용해서 플래쉬 드라이브의 출시시기를 예측하는 예제가 주어져 있다.

```
> # Example from Inman (2004) p. 93-104, predicting flash drive introduction dates
```

관찰된 플래쉬드라이브 A~G 7개의 자료가 입력되었다.

```
> drive <- c("A", "B", "C", "D", "E", "F", "G")
> x <- data.frame(c(16, 14, 8, 25, 40, 30, 40))
> rownames(x) <- drive
```

투입변수는 비용값이다.

```
> colnames(x) <- c("Cost")
```

산출변수는 플래쉬드라이브의 용량을 나타낸다.

```
> y <- data.frame(c(16, 32, 32, 128, 32, 64, 256))
> rownames(y) <- drive
> colnames(y) <- c("Capacity")
```

출시년도에 관한 자료를 입력하고 변수명을 z로 한다.

```
> z <- data.frame(c(2001, 2002, 2003, 2004, 2001, 2002, 2004))
> rownames(z) <- drive
> colnames(z) <- c("Date_Intro")
```

2003년을 현재 시점으로 하여 플래쉬 드라이브 D와 G에 대한 출시시기를 예측해 본다.

```
> # Calc intro date for products using forecast year 2003
> results <- TFDEA(x, y, z, 2003, rts="vrs", orientation="output", mode="dynamic")
```

아래는 결과를 출력한 것이다. D, G는 실제로 출시된 시기는 2004년이었는데 TFDEA를 이용한 출시시기 예측은 2003.687과 2004.486으로 계산되었다.

```
> # Examine what dates are forecast for DMU D & G
> print(results$dmu_date_for)
dmu
      A      B      C      D      E      F      G
NA     NA     NA 2003.687     NA     NA 2004.486
```

(5) 기타: DEA 모형의 확장

지금까지 살펴본 DEA 기본모형 외에 응용문제에 따라서 변형된 형태의 DEA방식의 기법이 소개되어 있다. 그리고 여전히 새로운 모형을 개발하고 있다. DEA모형의 변형은 기본개념에서 소개한 가정의 완화와 조합, 변수자료의 형태, 목적함수의 형태, 제약식과 목적식의 특성, 통계적 유의성 등에 따라 다양하게 논의되고 있다. 여기서는 사업관리의 성과관리를 위한 적용성을 살펴보는 관점에서 가장 기본적인 모형에 대해 알아보았다.

4.3. R 기반 DEA 프로그램 설치

R프로그램으로 작성된 DEA 프로그램 중에서 nonparaeff와 Benchmarking을 활용하고자 하면 R 윈도우에서 해당 패키지를 설치하고 이를 불러오는 작업이 필요하다.

nonparaeff와 Benchmarking 라이브러리를 설치하기 위해서는 인터넷이 연결된 상태에서 R 콘솔에 다음과 같은 명령어를 넣고 엔터키로 실행한다.

```
> install.packages("nonparaeff", dependencies = T)
```

마찬가지로 Benchmarking프로그램을 다음 명령어로 설치할 수 있다.

```
> install.packages("Benchmarking", dependencies = T)
```

주의할 것은 이 두 가지 프로그램은 서로 배타적이라서 하나를 실행하면 다른 프로그램은 비활성화 해주어야 충돌이 방지된다. 그리고 프로그램에서 호환이 되는 버전의 R을 확인하고 설치해야 한다.

install.packages함수는 인터넷에서 라이브러리를 다운로드 받고 사용자의 컴퓨터에 설치하는 함수이다. install.packages(...) 함수의 첫 번째 인수는 설치하는 라이브러리의 이

름이다. 두 번째 인수로 주어진 dependencies는 설치하는 라이브러리가 필요로 하는 라이브러리까지 설치를 할 것인지를 결정하는 인수이며, TRUE일 경우에는 필요 라이브러리를 모두 설치한다. nonparaeff 라이브러리는 lpSolve, Hmisc, Design, geometry, gdata, psych 등의 라이브러리를 필요로 하고 Benchmarking 라이브러리는 lpSolveAPI, ucminf, quadprog 등의 라이브러리를 필요로 한다. 위와 같은 명령어를 실행할 경우 필요로 하는 라이브러리 또한 전부 설치되므로, 라이브러리들끼리의 의존성으로 인해 문제점은 발생하지 않는다.

nonparaeff 또는 Benchmarking 라이브러리를 사용하기 위해서는 다음과 같은 명령어로 R에게 알려준다.

```
> library(nonparaeff)
> library(Benchmarking)
```

nonparaeff 라이브러리에 대한 개략적인 설명을 보기 위해서는 다음과 같은 명령어를 친다.

```
> help(package=nonparaeff)
```

그 결과 나타나는 화면은 다음과 같다.

```
Package: nonparaeff
Version: 0.5-8
Date: 2013-02-22
Title: Nonparametric Methods for Measuring Efficiency and Productivity
Author: Dong-hyun Oh <oh.donghyun77@gmail.com>, with Dukrok Suh
Maintainer: Dong-hyun Oh <oh.donghyun77@gmail.com>
Depends: R (>= 1.8.0), lpSolve, gdata, Hmisc, rms, geometry, psych, pwt
Suggests: gtools
Description: This package contains functions for measuring efficiency
             and productivity of decision making units (DMUs) under the
             framework of Data Envelopment Analysis (DEA) and its
             variations.
License: GPL (>= 2)
URL: http://www.r-project.org
Repository: CRAN
Packaged: 2013-02-22 07:52:17 UTC; arecibo
NeedsCompilation: no
Date/Publication: 2013-02-22 09:38:43
Built: R 4.0.0; ; 2020-04-27 05:04:42 UTC; unix
```

additive	Linear Programming for the Additive Model
ar.dual.dea	Assurance Region Data Envelopment Analysis (AR-DEA)
cost.dea	Linear Programming for Cost Minimization
ddf	Linear Programming for the Directional Distance Function
dea	Linear Programming for the Data Envelopment Analysis
direc.dea	Linear Programming for the Directional Distance Function with Undesirable Outputs
dual.dea	Linear Programming for the Dual Data Envelopment Analysis
effdea.b.f	Linear Programming for the Data Envelopment Analysis
farealm2	Linear Programming for the Malmquist Productivity Growth Index
fdh	Linear Programming for the Free Disposable Hull
int.dea	Linear Programming for the Data Envelopment Analysis with Integer-valued Inputs.
lp2	Linear Programming with Free Variables
orderm	Efficiency Measures with the order-m Method.
revenue.dea	Linear Programming for Revenue Maximization
sbm.tone	Linear Programming for the Slacks-based Model under the CRS
sbm.vrs	Linear Programming for the Slacks-based Model under the VRS

동일한 방법으로 Benchmarking에 대한 기본정보를 볼 수 있다.

```
> help(package="Benchmarking")
Package: Benchmarking
Type: Package
Title: Benchmark and Frontier Analysis Using DEA and SFA
Version: 0.29
Date: 2020-8-8
Author: Peter Bogetoft and Lars Otto
Maintainer: Lars Otto <larsot23@gmail.com>
Depends: lpSolveAPI, ucminf, quadprog
Imports: methods, stats, graphics, grDevices, Rcpp
LinkingTo: Rcpp
Description: Methods for frontier
analysis, Data Envelopment Analysis (DEA), under different technology assumptions (fdh, vrs, drs,
crs, irs, add/frh, and fdh+), and using different efficiency measures (input based, output based,
hyperbolic graph, additive, super, and directional efficiency). Peers and slacks are available, partial
price information can be included, and optimal cost, revenue and profit can be calculated.
Evaluation of mergers is also supported. Methods for graphing the technology sets are also
included. There is also support for comparative methods based on Stochastic Frontier Analyses
(SFA) and for convex nonparametric least squares for convex functions (StoNED). In general, the
methods can be used to solve not only standard models, but also many other model variants.
It complements the book, Bogetoft and Otto, Benchmarking with DEA, SFA, and R,
Springer-Verlag, 2011, but can of course also be used as a stand-alone package.

License: GPL (>= 2)
LazyLoad: yes
NeedsCompilation: yes
Packaged: 2020-08-07 08:49:15 UTC; lao
Repository: CRAN
```

Date/Publication: 2020-08-07 09:52:06 UTC
 Built: R 4.0.2; x86_64-apple-darwin17.0; 2020-08-08

Data Envelopment Analyses (DEA)
 and Stochastic Frontier Analyses
 (SFA) – Model Estimations and
 Efficiency Measuring

Benchmarking

boot.fear
charnes1981
coef.sfa
cost.opt
critValue
dea
dea.add
dea.boot
dea.direct
dea.dual
dea.merge
dea.plot
dea.plot.frontier
dea.plot.isoquant
dea.plot.transform
eff
eff.dens
eff.dens.plot
eff.Farrell
eff.sfa
efficiencies
efficiencies.default
efficiencies.Farrell
efficiencies.sfa
eladder
eladder.plot
excess
get.number.peers
get.peers.lambda
get.which.peers
lambda
lambda.print
lambda.sfa
logLik.sfa
make.merge
malmq
malmquist
mea

Data Envelopment Analyses (DEA) and Stochastic Frontier
 Analyses (SFA) – Model Estimations and Efficiency Measuring
 Bootstrap DEA models
 Data: Charnes et al. (1981): Program follow through
 Stochastic frontier estimation
 DEA optimal cost, revenue, and profit
 Critical values from bootstrapped DEA models
 DEA efficiency
 Additive DEA model
 Bootstrap DEA models
 Directional efficiency
 Dual DEA models and assurance regions
 Estimate potential merger gains and their decompositions
 Plot of DEA technologies
 Plot of DEA technologies
 Plot of DEA technologies
 Plot of DEA technologies
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Estimate and plot density of efficiencies
 Estimate and plot density of efficiencies
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Calculate efficiencies for Farrell and sfa object
 Efficiency ladder for a single firm
 Efficiency ladder for a single firm
 Excess input compared over frontier input
 Find peer firms and units
 Find peer firms and units
 Find peer firms and units
 Lambdas or the weight of the peers
 Lambdas or the weight of the peers
 Stochastic frontier estimation
 Stochastic frontier estimation
 Make an aggregation matrix to perform mergers
 Malmquist index
 Malmquist index for firms in a panel
 MEA multi-directional efficiency analysis

mea.lines	MEA multi-directional efficiency analysis
milkProd	Data: Milk producers
norWood2004	Data: Forestry in Norway
outlier.ap	Detection of outliers in benchmark models
outlier.ap.plot	Detection of outliers in benchmark models
outlierC.ap	Detection of outliers in benchmark models
peers	Find peer firms and units
pigdata	Data: Multi-output pig producers
print.cost.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
print.Farrell	DEA efficiency
print.profit.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
print.revenue.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
print.sfa	Stochastic frontier estimation
print.slack	Calculate slack in an efficiency analysis
profit.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
projekt	Data: Milk producers
residuals.sfa	Stochastic frontier estimation
revenue.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
sdea	Super efficiency
sfa	Stochastic frontier estimation
sfa.cost	Stochastic frontier estimation
sigma2.sfa	Stochastic frontier estimation
sigma2u.sfa	Stochastic frontier estimation
sigma2v.sfa	Stochastic frontier estimation
slack	Calculate slack in an efficiency analysis
stoned	Convex nonparametric least squares
summary.cost.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
summary.Farrell	DEA efficiency
summary.profit.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
summary.revenue.opt	DEA optimal cost, revenue, and profit
summary.sfa	Stochastic frontier estimation
summary.slack	Calculate slack in an efficiency analysis
te.add.sfa	Stochastic frontier estimation
te.sfa	Stochastic frontier estimation
teBC.sfa	Stochastic frontier estimation
teJ.sfa	Stochastic frontier estimation
teMode.sfa	Stochastic frontier estimation
typeIerror	Probability of type I error for test in a bootstrap DEA model

이 패키지의 버전, 작성 일자, 대략적인 내용, 작성자, 유지보수자, 라이선스, nonparaeff 패키지가 포함하는 함수 등의 정보를 보여주고 있다.

각각의 함수에 대한 도움말을 읽고 싶을 때는 '?' 및 help(...) 함수를 이용하여 질문한다. 예를 들어 sbm.tone에 대한 설명 및 예제 등을 보고 싶다면 다음과 같은 명령어를 활용한다.

```
> help(sbm.tone)
```

4.4. R기반 DEA프로그램의 실행

(1) DEA 기본모형

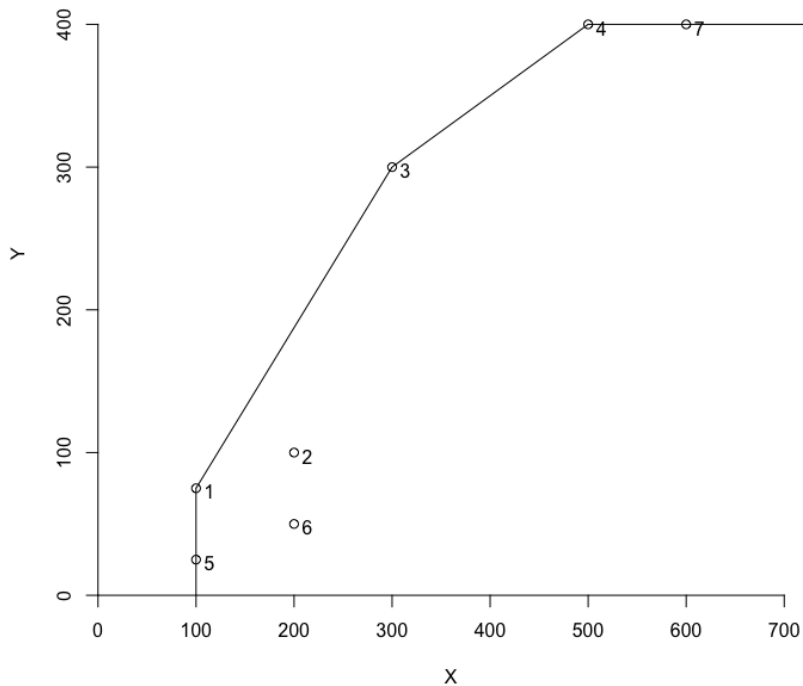
산출기준 CCR모형을 Benchmarking 프로그램의 예제를 이용해서 다음과 같이 효율성 분석이 가능하다.

다음과 같이 데이터를 입력한다.

```
x <- matrix(c(100,200,300,500,100,200,600),ncol=1)
y <- matrix(c(75,100,300,400,25,50,400),ncol=1)
```

입력한 데이터를 그래프로 그려본다. <그림 4-12>는 실행결과 나타나는 투입산출값과 생산변경 그래프이다.

```
dea.plot.frontier(x,y,txt=TRUE)
```



<그림 4-12> 투입산출 값에 대한 생산변경

규모의 경제에 대한 설정을 불변규모로 정해서 분석해 볼 수 있다.

```
> e <- dea(x,y, RTS = "CRS")
```

결과값을 읽어올 수 있다.

```
> e
```

```
[1] 0.7500 0.5000 1.0000 0.8000 0.2500 0.2500 0.6667
```

프린트 명령어로 동일하게 값을 확인할 수 있다.

```
> print(e)
```

```
[1] 0.7500 0.5000 1.0000 0.8000 0.2500 0.2500 0.6667
```

요약정보를 얻을 수 있다.

```
> summary(e)
```

Summary of efficiencies

CRS technology and input orientated efficiency

Number of firms with efficiency==1 are 1 out of 7

Mean efficiency: 0.602

Eff range	#	%
0.2<= E <0.3	2	29
0.3<= E <0.4	0	0
0.4<= E <0.5	0	0
0.5<= E <0.6	1	14
0.6<= E <0.7	1	14
0.7<= E <0.8	1	14
0.8<= E <0.9	1	14
0.9<= E <1	0	0
E ==1	1	14

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.2500	0.3750	0.6667	0.6024	0.7750	1.0000

참조집합과 가중치에 대한 정보를 얻을 수 있다.

```
> lambda(e)
      L3
[1.] 0.25000000
[2.] 0.33333333
[3.] 1.00000000
[4.] 1.33333333
[5.] 0.08333333
[6.] 0.16666667
[7.] 1.33333333
```

만약 비효율적인 생산단위라면 효율적인 생산변경으로 옮겨가기 위해서 얼마만큼의 비효율적인 부분을 줄이거나 늘려야 하는지 벤치마킹 정보와 그 정도를 아래와 같이 계산할 수 있다. A생산활동을 하는 당사자는 최적의 투입량을 위해 25만큼을 줄일 수 있다는 것을 말해주고 있다.

```
> (1-eff(e)) * x
      [,1]
[1.] 25
[2.] 100
[3.] 0
[4.] 100
[5.] 75
[6.] 150
[7.] 200
```

강효율이 되기 위한 여유분을 구해볼 수 있다.

```
> el <- dea(x,y,SLACK=TRUE)
```

계산된 값을 데이터 프레임 명령어로 읽어올 수 있다.

```
> data.frame(e$eff,el$eff,el$slack,el$sx,el$sy)
      e.eff  el.eff el.slack sx1 sy1
1 0.7500000 1.0000000  FALSE  0  0
```

2	0.5000000	0.6111111	FALSE	0	0
3	1.0000000	1.0000000	FALSE	0	0
4	0.8000000	1.0000000	FALSE	0	0
5	0.2500000	1.0000000	TRUE	0	50
6	0.2500000	0.5000000	TRUE	0	25
7	0.6666667	0.8333333	FALSE	0	0

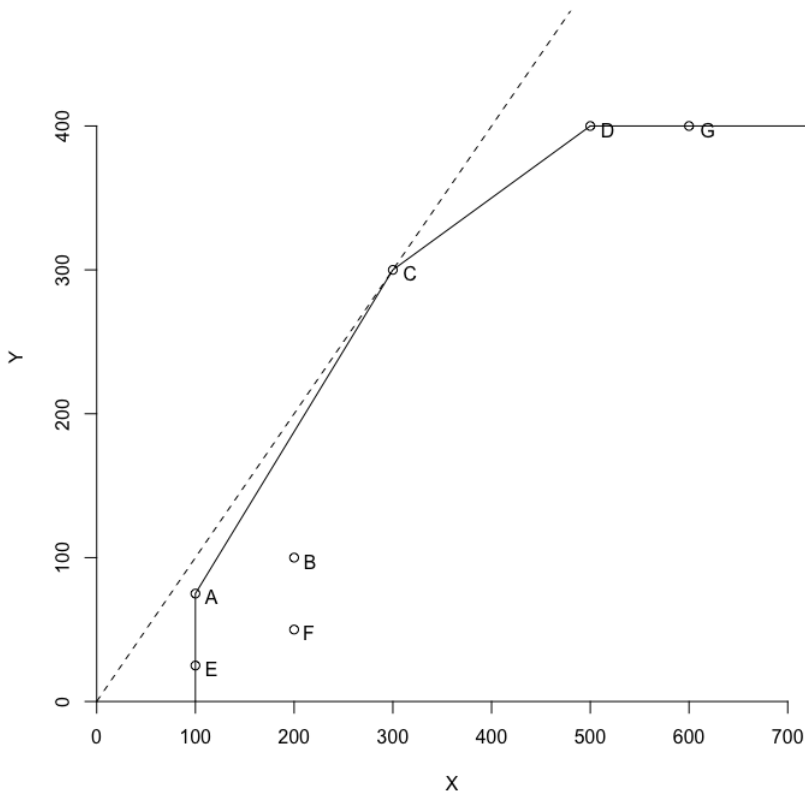
효율적이면서 여유분이 없는 강효율인 생산활동을 찾아볼 수 있다.

```
> which(eff(e) == 1 & !e!$slack)
```

```
[1] 3
```

CRS 프론티어를 그림으로 그리는 명령어를 실행할 수 있다.

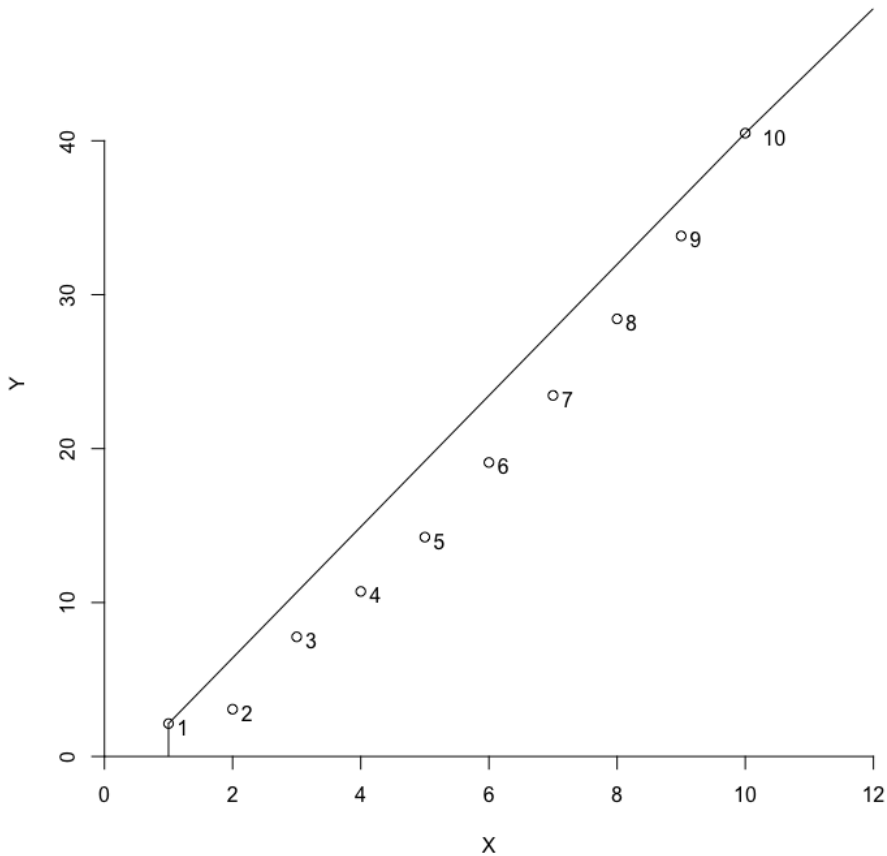
```
dea.plot(x,y,RTS="crs",ORIENTATION="in-out",add=TRUE,lty="dashed")
```



〈그림 4-13〉 불변규모수익 가정의 도식

데이터를 입력하여 분석할 수도 있지만 임의의 난수를 생성하여 생산변경을 그려볼 수도 있다.

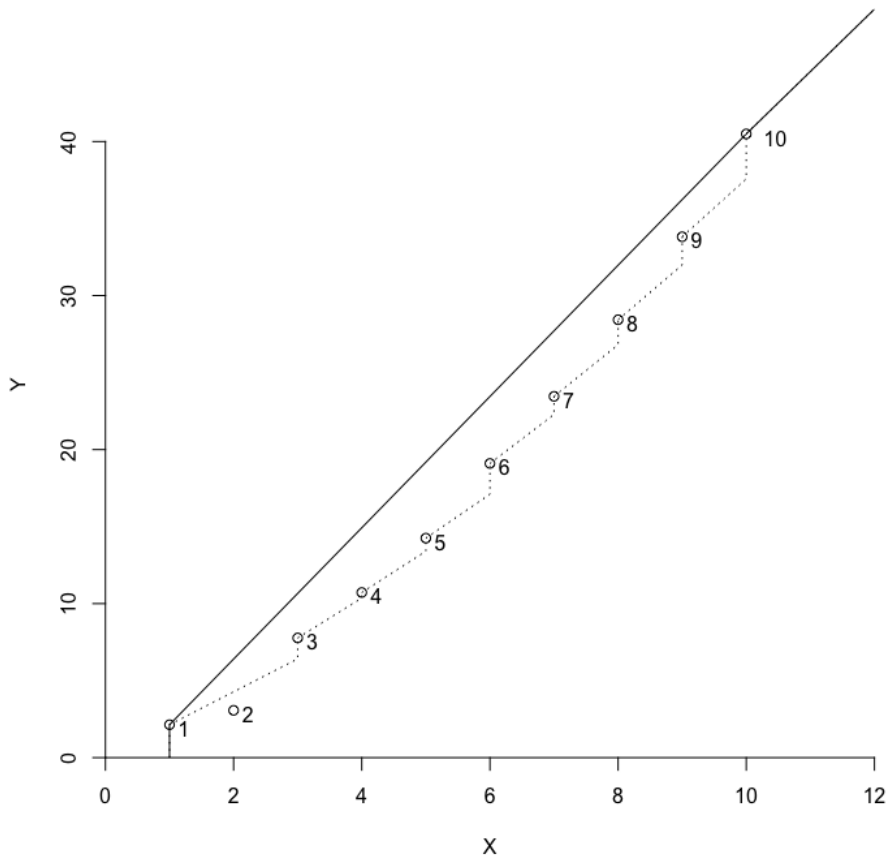
```
n <- 10
x <- matrix(1:n,,1)
y <- matrix(x^(1.6) + abs(rnorm(n)),,1)
dea.plot.frontier(x,y,RTS="irs",txt=1:n)
```



〈그림 4-14〉 난수 생성 자료의 그래프

규모의 경제에 대한 가정을 변경하여 생산변경을 다시 그려 볼 수 있다.

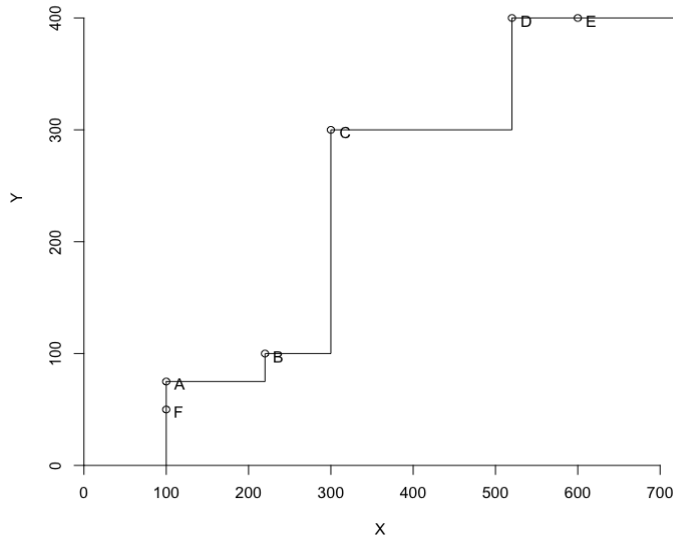
```
dea.plot.frontier(x,y,RTS="irs2",add=TRUE,lty="dotted")
```



〈그림 4-15〉 add 옵션을 이용한 그래프 도식

자유가치분성만 가정하고 볼록성 가정을 배제하여 FDH모형의 생산변경을 도출할 수 있다.

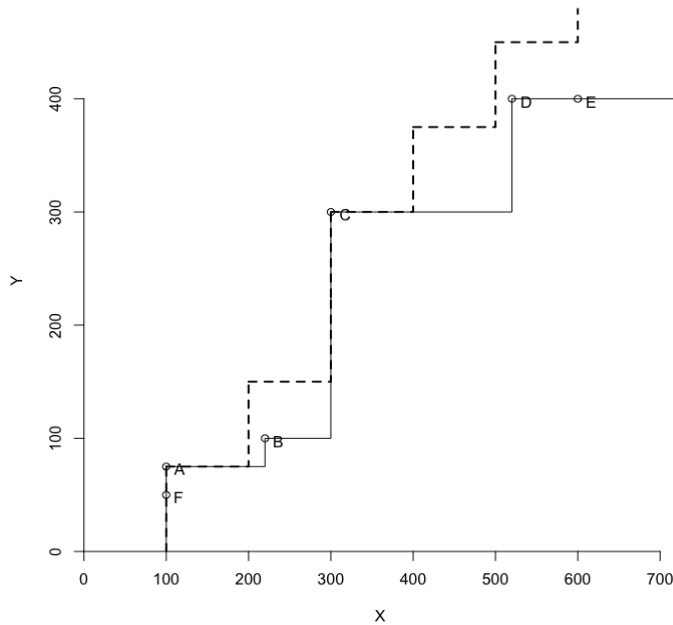
```
x <- matrix(c(100,220,300,520,600,100),ncol=1)
y <- matrix(c(75,100,300,400,400,50),ncol=1)
dea.plot(x,y,RTS="fdh",ORIENTATION="in-out",txt=LETTERS[1:length(x)])
```



〈그림 4-16〉 자유가처분성 가정에 따른 생산변경 그래프 도식

다음과 같이 볼록성 가정은 배제하고 규모의 경제성이 있는(irs) 조건을 추가하여 효율성을 분석할 수 있다.

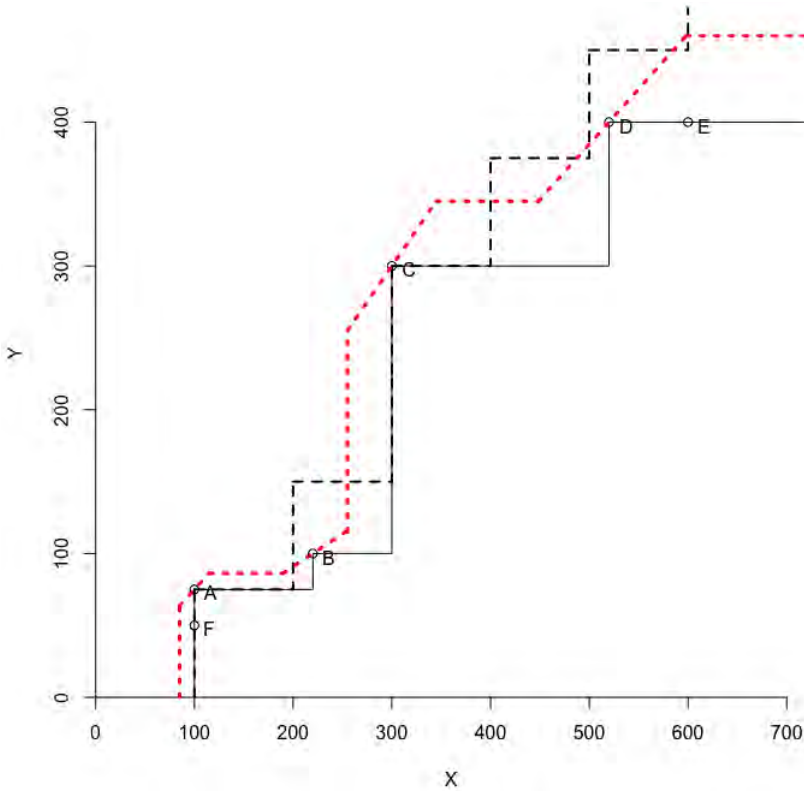
```
dea.plot(x,y,RTS="add",ORIENTATION="in-out",add=TRUE,lty="dashed",lwd=2)
```



〈그림 4-17〉 볼록성 미가정하에 규모수익이 있는 FDH 모형의 생산변경

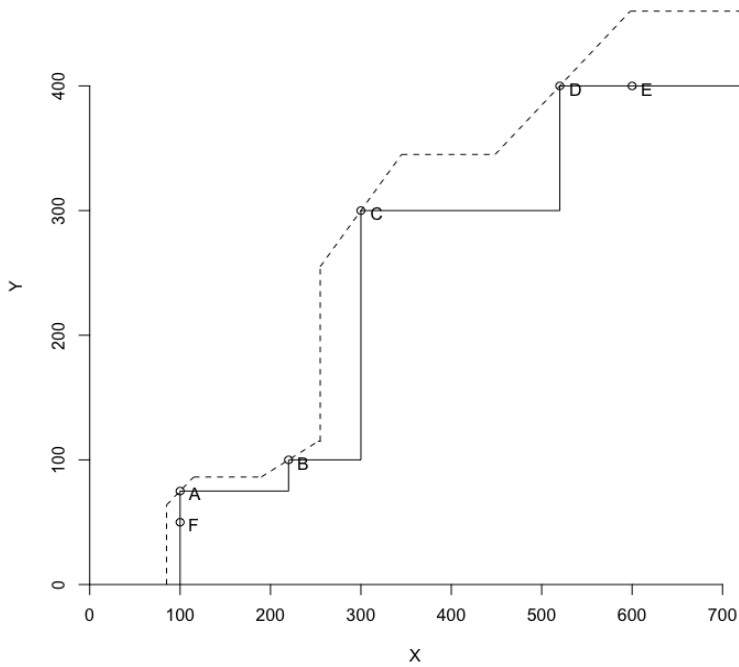
생산변경에 대한 가정을 모형에 따라 적용할 수 있다. 자유가치분성과 규모의 경제성에 대한 제약 또는 국지불변규모수익을 추가로 적용하는 fdh+를 실행하면 <그림 4-18>와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

```
> dea.plot(x,y,RTS="fdh+",ORIENTATION="in-out",add=TRUE,
+         lty="dotted",lwd=3,col="red")
```

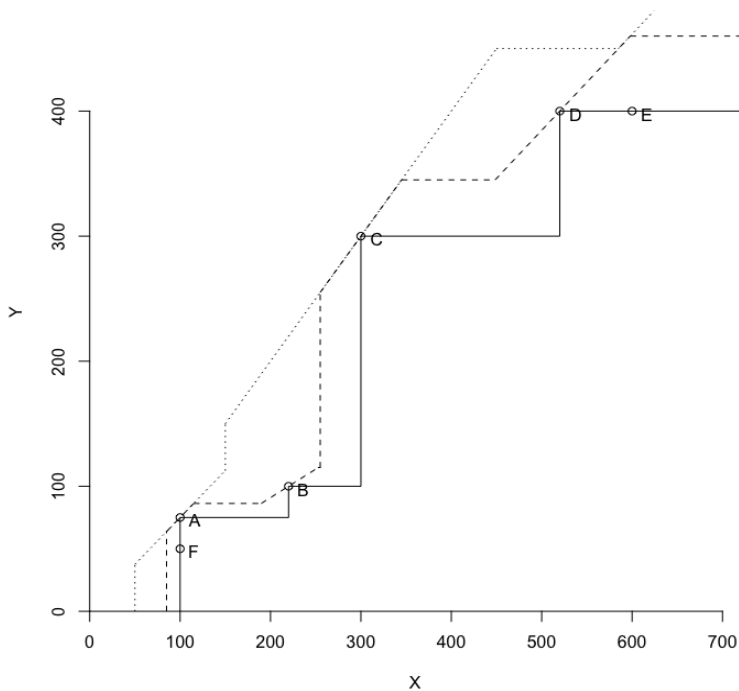


<그림 4-18> 자유가치분성과 국지적 불변규모 가정에 따른 fdh+ 옵션의 실행결과

`dea.plot(x,y,RTS="fdh+",ORIENTATION="in-out",add=TRUE,lty="dashed")`



`dea.plot(x,y,RTS="fdh+",ORIENTATION="in-out",add=TRUE,lty="dotted",param=.5)`



4.3절 프로그램 설치화면에서 나열한 다양한 DEA모형을 활용할 수 있는데 분석하고자 하는 문제의 특성을 고려하여 적용하면 된다.

(2) 맘퀴스트 분석 모형

패널 데이터를 다음과 같이 입력한다.

```

> x0 <- matrix(c(10, 28, 30, 60),ncol=1)
> y0 <- matrix(c(5, 7, 10, 15),ncol=1)
> x1 <- matrix(c(12, 26, 16, 60 ),ncol=1)
> y1 <- matrix(c(6, 8, 9, 15 ),ncol=1)
> x2 <- matrix(c(13, 26, 15, 60 ),ncol=1)
> y2 <- matrix(c(7, 9, 10, 15 ),ncol=1)

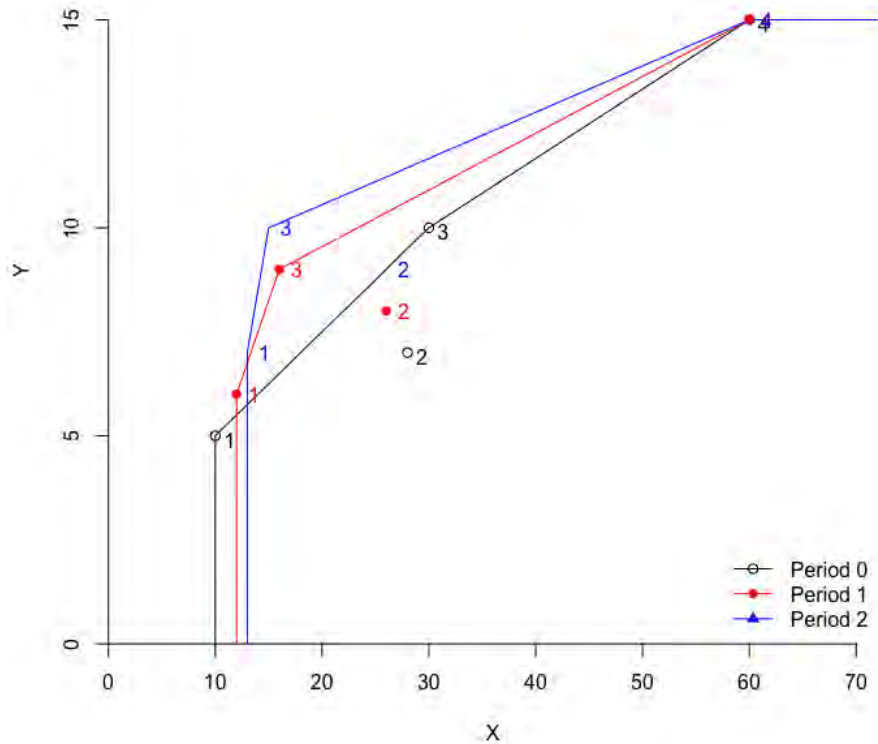
```

그래프로 도식해서 입력자료와 규모의 경제성에 관한 조건을 확인할 수 있다.

```

> dea.plot(x0, y0, RTS="vrs", txt=TRUE)
> dea.plot(x1, y1, RTS="vrs", add=TRUE, col="red")
> dea.plot(x2, y2, RTS="vrs", add=TRUE, col="blue")
> points(x1, y1, col="red", pch=16)
> # points(x2, y2, col="blue", pch=17)
> text(x1, y1, 1:dim(x1)[1], col="red", adj=-1)
> text(x2, y2, 1:dim(x1)[1], col="blue", adj=-1)
> legend("bottomright", legend=c("Period 0", "Period 1", "Period 2"),
+       col=c("black", "red", "blue"), lty=1, pch=c(1,16, 17), bty="n")

```



맘퀴스트 분석을 위해 데이터 양식을 맞추어 재배열한다.

```

> X <- rbind(x0, x1, x2)
> Y <- rbind(y0, y1, y2)
> # Make ID and TIME variables one way or another
> ID <- rep(1:dim(x1)[1], 3)
> # TIME <- c(rep(0,dim(x1)[1]), rep(1,dim(x1)[1]), rep(2,dim(x1)[1]))
> TIME <- gl(3, dim(x1)[1], labels=0:2)
    
```

맘퀴스트 분석을 위한 데이터의 양식은 아래와 같다. 시간, 생산단위, 투입, 산출의 순서로 정리되어 있다.

```

> # This is how the data for malmquist must look like.
> data.frame(TIME, ID, X, Y)
  TIME ID  X  Y
1     0  1 10  5
2     0  2 28  7
3     0  3 30 10
    
```

```

4    0  4 60 15
5    1  1 12  6
6    1  2 26  8
7    1  3 16  9
8    1  4 60 15
9    2  1 13  7
10   2  2 26  9
11   2  3 15 10
12   2  4 60 15

```

맘퀴스트 분석을 위한 명령어를 입력한다.

```
> mq <- malmquist(X,Y, ID, TIME=TIME)
```

```
Period 2
```

```
Period 3
```

결과자료를 확인할 수 있다.

```
> mq
```

```
$m
```

```

[1]      NA      NA      NA      NA 0.9860133 1.2486943 1.4454362
1.0000000 0.9730085 1.0696374
[11] 1.3177383 1.0000000

```

맘퀴스트 생산성 지수 값이 도출되었다.

```
$tc
```

```

[1]      NA      NA      NA      NA 0.9860133 1.4230249 1.4454362
1.0000000 0.9730085 1.0945127
[11] 1.3177383 1.0000000

```

기술변화에 대한 측정값이다.

```
$ec
```

```

[1]      NA      NA      NA      NA 1.0000000 0.8774929 1.0000000
1.0000000 1.0000000 0.9772727

```

[11] 1.0000000 1.0000000
 효율변화에 대한 측정값이다.

\$id

[1] 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4
 맘퀴스트지수변화, 효율변화, 기술변화의 값과 매치되는 생산단위(dmu)이다.

\$time

[1] 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2
 Levels: 0 1 2

time은 전시되는 결과값의 시간순서를 나타내고 levels는 시간의 수준값을 의미낸다.

위 결과에서 NA는 변화율을 구하기 위한 패널자료의 첫 번째 년도에 대한 것이므로 구할 수 없는 값이라서 표현된 신호값이다.

4.5. 결론

이상에서 비모수적 상대적 비통계적 효율성 측정방법인 DEA를 알아보았다. 방법론의 응용연구가 만개 이상 기록될 정도로 국방분야를 포함하여 공공분야에 대한 효율성 분석의 방법론으로 널리 활용되고 있다.

그러나 방법론의 한계 또한 지적되고 있는데 통계적 유의성에 관한 문제, 상대적 효율성 측정의 문제, 특이치에 대한 민감도 문제 등이 주요한 쟁점이 되어 왔다. SFA(Stochastic frontier analysis)가 대안으로 제시되어 있으나 생산함수의 가정, 통계적 가정 충족여부, 그리고 다수산출을 다루지 못하는 문제로 여전히 두 방법론은 연구자들의 관심이 되고 있다.

DEA의 기본모형에서부터 비교적 최근에 개발된 기술예측 기법인 TFDEA 등에 이르기까지 많이 알려져 있다. DEA는 국방분야 특히 방위사업관리를 업무로 하는 경우에 과학적사업관리기법을 적용하면서 효율적인 사업관리가 되도록 분석하는 업무에 직간접적인 지원도 구로서 의의가 있다고 본다. 특히 빅데이터의 활용을 통한 학습모형, M&S연계, 네트워크 시스템 효율성 분석, 기술예측, 유망기술 식별기법 등은 새로운 DEA방법론을 모색할 수 있는 주요한 분야로 평가할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 사업관리 현장에서 실제로 사용할 수 있는 대표적인 과학적 기법을 제시하고 다양한 예시(사례)와 함께 그 절차를 이해하기 쉬운 수준으로 논의하였다. 독자가 사업관리 계량 분석 주요 방법론을 쉽게 이해할 수 있도록 분석 방법론별로 주요 사례를 소개하였으며 현장에서 활용 가능한 분석 도구의 활용법 및 코드를 제시하였다. 사업관리 분석방법론으로는 가장 대표적인 공학적 기법인 최적화 기법, 마코비안 모형, 자료포락분석에 대해 논의하였다.

이를 위해, 기존연구 검토, 각 방법론 개념 및 적용 방향성 설명, 적용 사례 발굴 등의 방법으로 논의를 진행하였다. 특히, 본 연구에서는 사업관리 현장의 실무자들이 직접 방법론을 실행해 볼 수 있도록 대표적인 오픈소스 범용 툴인 R을 그 대상으로 하여 최적화 모형의 구현 및 풀이, 마코프 체인 상태 변화 확률 연산 및 성능척도 계산, 의사결정단위 효율성 평가 등에 대한 다양한 코드와 사용법을 제안하였다.

본 보고서를 통해 사업관리 현장의 실무자들이 주요 공학적 방법론을 개괄적으로 이해하고 각 방법론의 구현방법을 체험함으로써 향후에 직접적인 활용 또는 추가적인 연구를 진행할 수 있는 방향성을 제시해 줄 것으로 기대한다.

〈참고 문헌〉

- 김경민, 윤봉규 (2019), “전시동원 특성을 고려한 민간항공기 적정 동원대수 산출기준 연구”, 로지스틱스 연구 27(3): 117-129.
- 조승현, 윤봉규 (2019), “우선순위 대기행렬 모형을 활용한 대형함정 정비용 건설거 운용수준 분석”, 경영과학 36(1): 37-49.
- 손영수, 김성우, 윤봉규 (2014), “항공기 운용 특성을 고려한 적정 운용 대수 산정 기준 연구”, 한국군사과학기술학회지 17(1): 41-49.
- 김각규, 백승원, 윤봉규 (2013), “연속시간 흡수 마코프체인을 활용한 신뢰도 중복 최적화 문제”, 대한산업공학회지 39(4): 290-297.
- 김영호 외 (2021), “4차 산업혁명기술의 국방/안보분야 적용방안”, 국방과학연구소.
- 민병원(2017), “4차 산업혁명과 군사안보전략”, 「4차 산업혁명과 한국의 미래전략(김상배 엮음)」, 사회평론. pp.145-179.
- 윤봉규 (2009), “전장 모델링 실무자를 위한 마코프 체인에 대한 소고”, 국방과학기술 2(3): 47-61.
- 윤봉규 (2010), “마코비안 도착과정의 국방 모델링 분야 활용방안 연구,” 국가안전보장문제 연구소.
- 윤봉규 (2021), “간소화된 그래픽 문법(Grammer of Graphics) 기반 데이터 시각화,” 군사과학연구지 14(1): 29-41.
- 조남석 (2017), “최적화 이론의 국방분야 적용 방안”, 군사과학정책연구, 안보문제 연구소.
- 조남석 (2019), “한반도 주변국의 안보 분야 운영분석 기법 활용사례 연구”, 군사과학정책 연구, 안보문제연구소.
- 홍성필 (2014), 『경영과학』, 울곡출판사
- 김현철, 정병기, 이춘주.(2016), “TFDEA를 이용한 무인항공기 기술예측에 관한 연구”, 기술혁신학회지 19(4).
- 여현구, 이춘주 (2020), “국방 핵심기술 R&D 효율성 분석에 관한 연구: GSFA 와 DEA 의 적용을 중심으로,” 한국혁신학회지 15(4): 1-31.
- 이정동, 오동현 (2012), 효율성 분석 이론: DEA 자료포락분석법, 지필미디어.
- 국방부(2021), “2021년 국방부 업무보고: 강한 안보, 자랑스러운 군, 함께하는 국방”, <https://www.mnd.go.kr/mbshome/mbs/plan/>, 2021.3.21. 검색

- Boutsikas, M.V., Koutras(2000), M.V., “Reliability Approximation for Markov Chain Imbeddable Systems,” *Methodology and Computing in Applied Probability* 2: 393-411.
- Koutras, M. (1996), “On a Markov chain approach for the study of reliability structures,” *Journal of Applied Probability*, 33(2), 357-367.
- Latouche, G. and V. Ramaswami(1999), *Introduction to Matrix Analytic Methods in Stochastic Modeling*, SIAM.
- Neuts, M.F.(1981), *Matrix Geometric solutions in stochastic models*, The Johns Hopkins University Press.
- Neuts, M.F.(1989), *Structured stochastic matrices of M/G/1 type and their applications*, Marcel Dekker, New York and Basel, 1989.
- Ross, S.M.(2019), *Introduction to Probability Models*, Elsevier 12th ed., New York.
- Ross, S.M.(2019), *Stochastic Process* 2nd ed., John Wiley & Sons.
- Choi, KH, BK Yoon, and SA Moon. (2019), “Queueing Inventory Systems with Phase-type Service Distributions: A Literature Review”, *Industrial Engineering & Management Systems* 18(3): 330-339.
- Charles R. Shrader (2006), “History of Operations Research in the United States Army Vol I : 1942-1962”
- Charles R. Shrader (2008), “History of Operations Research in the United States Army Vol II : 1961-1973”
- Charles R. Shrader (2009), “History of Operations Research in the United States Army Vol III : 1973-1995”
- Adler, N.and Yazhemy, E. (2009). Improving discrimination in Data Envelopment Analysis: PCA-DEA or variable reduction. *European Journal of Operational Research*, 202(1):273-284.
- Afriat, S. N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review*, 13(3):568-598.
- Aigner, D. J. and Chu, S. F. (1968). On estimating the industry production function. *American Economic Review*, 58(4):826-839.
- Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R. G. and Thanassoulis, E. (1997). Weights restrictions and value judgements in Data Envelopment

- Analysis: Evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 73: 13-34
- Anderson, W. (2004). Major League Baseball under investigation: how the industry used public relations to promote its past to save its present. *Public Relations Review*, 30(4): 439-445.
- Banker, R. and Thrall, R. (1992). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 62(1): 74-84.
- Banker, R. D. (1993). Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: A statistical foundation. *Management Science*, 39(10): 1265-1273.
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9): 1078-1092.
- Banker, R. D. and Morey, R. C. (1986). Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. *Operations Research*, 34(4): 513-521.
- Battese, G. E. and Broca, S. S. (1997). Functional forms of stochastic frontier production functions and models for technical inefficiency effects: A comparative study for wheat farmers in Pakistan. *Journal of Productivity Analysis*, 8(4): 395-414.
- Caves, D., Christensen, L. and Diewert, W. (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, 50(6): 1393-1414.
- Charnes, A. and Cooper, W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval Research Logistics Quarterly*, 9(3-4): 181-186.
- Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W. and Golany, B. (1985). A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Forces, *Annals of Operations Research* 2: 95-112.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Huang, Z. M. and Sun, D. B. (1990). Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks. *Journal of Econometrics*, 46(1-2): 73-91.

- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6):429-444.
- Cook, W. D. and Zhu, J. (2005). *Modeling Performance Measurement: Applications and Implementation Issues in DEA*. Springer, New York.
- Cooper, W., Seiford, L. and Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software (2nd ed.)*. Springer Verlag, New York.
- Cooper, W., Seiford, L. and Zhu, J. (2004). *Handbook on data envelopment analysis (2nd ed.)*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Cooper, W.W., Shanling, L., Seiford, L. M., Tone, K., Thrall, R. M. and Zhu, J. (2001), Sensitivity and stability analysis in DEA: Some recent developments, *Journal of Productivity Analysis* 15(3):217-246.
- Cooper, W., Thompson, R. and Thrall, R. (1996). Chapter 1 Introduction: Extensions and new developments in DEA. *Annals of Operations Research*, 66(1):1-45.
- Cooper, W. W., Park, K. S. and Pastor, J. T. (1999). RAM: A range adjusted measure of inefficiency for use with additive models and relations to other models and measures in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 11(1):5-42.
- Cooper, W. W., Park, K. S. and Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. *Management Science*, 45(4):597-607.
- Cooper, Ruiz and Sirvent (2007)
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, 19(3):273-292.
- Diewert, W. and Parkan, C. (1983). Linear programming tests of regularity conditions for production functions. In Eichhorn, R. and Henn, K. Neumann and Shepard, R. W. (Eds.), *Quantitative studies on productions and prices*, 131-158. Physica Verlag, Würzburg-Wien.
- Dyson, R. and Thanassoulis, E. (1988). Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. *The Journal of the Operational Research Society*,

- 39(6):563-576.
- Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. and Shale, E. A. (2001). Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research* 132(2):245-259.
- Färe, R. (1988). *Fundamentals of production theory*. Springer Verlag, Heidelberg.
- Färe, R., Grosskopf, S. and Lovell, C. A. K. (1985). *The Measurements of Efficiency of Production*. Kluwer-Nijhoff, Boston.
- Cooper, W.W., Shanling, L., Seiford, L. M., Tone, K., Thrall, R. M. and Zhu, J. (2001), Sensitivity and stability analysis in DEA: Some recent developments, *Journal of Productivity Analysis* 15(3):217-246.
- Cooper, W., Thompson, R. and Thrall, R. (1996). Chapter 1 Introduction: Extensions and new developments in DEA. *Annals of Operations Research*, 66(1):1-45.
- Cooper, W. W., Park, K. S. and Pastor, J. T. (1999). RAM: A rangeadjusted measure of inefficiency for use with additive models and relations to other models and measures in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 11(1):5-42.
- Cooper, W. W., Park, K. S. and Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. *Management Science*, 45(4):597-607.
- Cooper, Ruiz and Sirvent (2007)
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, 19(3):273-292.
- Diewert, W. and Parkan, C. (1983). Linear programming tests of regularity conditions for production functions. In Eichhorn, R. and Henn, K. Neumann and Shepard, R. W. (Eds.), *Quantitative studies on productions and prices*, 131-158. Physica Verlag, Würzburg-Wien.
- Dyson, R. and Thanassoulis, E. (1988). Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. *The Journal of the Operational Research Society*, 39(6):563-576.
- Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. and Shale, E. A. (2001). Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of*

- Operational Research 132(2):245-259.
- Färe, R. (1988). Fundamentals of production theory. Springer Verlag, Heidelberg.
- Färe, R., Grosskopf, S. and Lovell, C. A. K. (1985). The Measurements of Efficiency of Production. Kluwer-Nijhoff, Boston.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994). "Productivity Growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries", American Economic Review, 84(no.1), pp.66-83.
- Inman, O.L.; Anderson, T.R.; Harmon, R.R. Predicting U.S. jet fighter aircraft introductions from 1944 to 1982: A dogfight between regression and TFDEA. Technological Forecasting and Social Change. 2006, 73. 1178-1187
- Ji, YB and Lee, CJ. (2010), "Data envelopment analysis", The Stata Journal, 10(2):267-280.
- Jung, KI, Lee, JD, and CJ Lee. (2010), "Profitability Gains of Korean Defense Firms: Technological Progress or Cost Shifting?", Asian Journal of Technology Innovation 18(2):219-239.
- Lee, CJ, Lee, DJ, and TY Kim. (2009), "Innovation policy for defense acquisition and dynamics of productive efficiency: A DEA application to the Korean defense industry", Asian Journal of Technology Innovation 17(2):151-171.
- Lee, C. and Ji, Y. (2009). Data Envelopment Analysis in Stata, Stata Conference DC09.
- Lee, C., Lee, K., and Lim, B. (2011). Malmquist productivity analysis using DEA Frontier in Stata, Stata Conference Chicago 2011.
- Pastor, J. T. and Lovell, C. A. K. (2005). A global Malmquist productivity index. Economics Letters, 88(2):266-271.
- Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. International Economic Review, 15(2):515-521.
- Shephard, R. W. (1953). Cost and production functions. Princeton University Press, New Jersey.
- Shephard, R. W. (1970). Theory of cost and production functions. Princeton University Press, Princeton.
- Shestalova, V. (2003). Sequential Malmquist indices of productivity growth: An

- application to OECD industrial activities. *Journal of Productivity Analysis*, 19(2):211-226.
- Simar, L. (1992). Estimating efficiencies from frontier models with panel data: A comparison of parametric, non-parametric and semi-parametric methods with bootstrapping. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1-2):167-203.
- Simar, L. (2003). Detecting outliers in frontier models: A simple approach. *Journal of Productivity Analysis*, 20(3):391-424.
- Simar, L. and Wilson, P. W. (1998). Sensitivity of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management Sciences*, 44(1):49-61.
- Simar, L. and Wilson, P. W. (1999). Estimating and bootstrapping Malmquist indices. *European Journal of Operational Research*, 115(3):459-471.
- Simar, L. and Wilson, P. W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, 27(6):779-802.
- Simar, L. and Wilson, P. W. (2008). Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: Recent Developments and Perspectives. In Fried, H., Lovell, C. A. K. and Schmidt, S. (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency* (421-521). Oxford University Press, New York.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3):498-509.
- Tulkens, H. and Vanden Eeckaut, P. (1995). Non-parametric efficiency, progress and regress measures for panel data: Methodological aspects. *European Journal of Operational Research*, 80(3):474-499.
- Varian, H. R. (1984). The nonparametric approach to production analysis. *Econometrica*, 52(3):579-598.
- Xue, M. and Harker, P. T. (2002). Note: Ranking DMUs within feasible super-efficiency DEA models. *Management Science*, 48(5):705-710.
- Zhu, J. (2004). Imprecise DEA via standard linear DEA models with a revisit to a Korean mobile telecommunication company. *Operations Research*, 52(2):323-329.

Gary Wang (2018), "Brief History of Optimization",
<https://empowerops.com/en/blogs/2018/12/6/brief-history-of-optimization#:~:text=Formal%20optimization%20on%20%E2%80%9Clinear%20programming,published%20by%20John%20von%20Neumann,> 2021.3.24. 검색

Army Tiger 4.0 아키텍처 설계 연구

국방대학교 교수 권태욱

국방대학교 교수 강동수

- I. 연구개요
- II. Army Tiger 4.0 체계 요구능력
- III. Army Tiger 4.0 체계 아키텍처 설계
- IV. Army Tiger 4.0 발전을 위한 개념 연구
- V. 결론 (Army Tiger 4.0 발전을 위한 제언)

요 약

미래에는 인구절벽에 따른 병력과 부대 수는 감소하는 반면, 작전 책임지역은 확장됨에 따라 첨단무기 전력증강도와 더불어 고효율, 고강도 작전 수행능력이 요구되고 있다. 이에 육군은 첨단 과학기술 중심의 아미타이거 4.0체계를 발전시키고자 한다.

아미타이거 4.0체계는 전장기능 중에서 기동의 측면에서 발전을 가져올 것이며, 미래 육군의 혁신 구상을 위한 중장기 계획으로 인공지능과 드론봇전투체계, 워리어플랫폼을 접목하여 보병부대의 기동화, 지능화, 네트워크화를 추구하여 미래 지상군 전쟁수행 개념의 큰 변화를 가져올 것이다.

본 연구는 아미타이거 4.0 체계에 요구되는 체계에 대한 개념과 이에 따른 작전과 전투 수행 방안, 그리고 각 구성 요소별 수행기능을 바탕으로 아미타이거 4.0 체계의 전체적인 개념과 전투공간에서 부여된 임무를 달성하기 위해 부대 또는 무기체계가 필수적으로 갖추어야 할 제반 군사적 역할, 활동 및 기능을 의미하는 전장 기능별 요구사항을 연구한다.

육군은 다차원 동시 통합전투를 수행하기 위해 6대 전장기능을 선정한 것을 바탕으로 6대 전장기능을 지휘·통제를 중심으로 유기적이고 복합적으로 통합 운용함으로써 전투의 효율성 및 전투력을 극대화할 수 있도록 전장기능별 아미타이거 능력이 요구된다.

그래서 미래 지상작전 환경에서 요구되는 유무인 전투 플랫폼 및 무기체계 간 상호 운용 요구사항을 작전적 관점과 체계 운용 관점에서 분석하여, 국방아키텍처 프레임워크에 따라 체계 구조를 연구하여 국방 아키텍처 프레임워크 관점에서 설계한다.

미래 육군은 향후 구축되는 모든 개인장비, 편재 장비 및 무기체계는 실시간 정보를 파악할 수 있는 실시간 데이터 구축이 가능하도록 추진되어야 하고, 이들 데이터를 기반으로 네트워크화, 지능(AI)화, 모듈화/시스템화되도록 추진하면 한층 발전된 육군의 모습이 될 것이다.

I. 연구개요

1.1 연구 배경

육군은 미래 안보환경의 변화에 대응하기 위해 국방개혁 2.0을 추진하며 병력 집약적 구조에서 첨단과학기술 기반의 군구조로의 발전과 첨단 전력의 확보가 필요하다. 또한, 육군은 대부분의 무기체계를 지능화시키고 일부는 첨단무기체계를 확보할 것으로 기대하면서도, 미래 첨단 과학기술 군으로 변혁하는 데에는 제한적일 것으로 우려하고 있어 첨단 과학기술에 의한 무인 전투체계, 초정밀·고위력의 새로운 무기체계 개발 및 획득과 새로운 전술개념 적용을 고려하고 있다.

다가올 미래에는 인구절벽에 따른 병력감축을 상쇄할 수 있는 첨단무기 전력증강도 미흡하고 병력과 부대 수는 감소하는 반면, 작전 책임지역은 확장됨에 따라 고효율, 고강도 작전 수행능력이 요구되고 있다.

미래 아미타이저 4.0체계는 전장기능 중 기동의 측면에서 발전을 가져올 것이며, 미래 육군 혁신 구상을 위한 중장기 계획으로 인공지능과 드론봇전투체계, 웨어플랫폼을 접목하여 보병부대의 기동화 지능화 네트워크화를 추구하여 미래 지상군 전쟁수행 개념의 큰 변화를 가져올 것이다.

또한, 인명 중시 고려, 개인 및 부대 방호능력을 확충하고 정밀타격능력을 구비하여 부수피해를 방지하여야 하며, 첨단과학기술에 의한 무인전투체계, 초정밀·고위력의 새로운 무기와 새로운 전술개념 적용이 필요하며, 정규전 포함, 비정규전, 테러, 사이버 등 복잡적이고 다양한 위협에 대한 대응을 필요로 한다.

1.2 연구 목표 및 범위

아미타이저 4.0 체계는 개념 발전 중에 있으면 육군의 요구사항은 점진적으로 구체화되고 있다. 그래서 본 연구의 목표는 아미타이저 4.0 체계 개념을 구체화를 위한 요구능력을 도출하고, 도출된 요구사항을 작전구조 분석과 체계구조 분석 개념 아키텍처로 구현해 보는 것이다.

연구 범위는 향후 아미타이저 4.0 체계 구축을 위한 아이디어를 도출하여 요구사항을 만들고 요구사항을 바탕으로 개념 아키텍처로 그려 향후 발전 방향을 제시하는 것이다.

먼저 아미타이저 4.0 체계에 요구되는 아미타이저 4.0 체계에 대한 개념과 이에 따른 작전과 전투 수행 방안, 그리고 각 구성 요소별 수행기능을 바탕으로 아미타이저 4.0 체계의 전체적인 윤곽 및 모습에 대한 개념을 제시하고, 전투공간에서 부여된 임무를 달성하기 위해 부대 또는 무기체계가 필수적으로 갖추어야 할 제반 군사적 역할, 활동 및 기능을 의미하는 전장 기능별 요구사항을 도출한다.

그리고, 육군이 다차원 동시 통합전투를 수행하기 위해 6대 전장기능을 선정한 것을 바탕으로 이들 6대 전장기능을 지휘·통제를 중심으로 유기적이고 복합적으로 통합 운용함으로써 전투 효율성 및 전투력을 극대화 할 수 있도록 전장기능별 아미타이저 4.0 요구능력을 기술한다.

미래 지상작전 환경에서 요구되는 유무인 전투 플랫폼 및 무기체계 간 상호 운용 요구사항을 작전적 관점과 체계 운용 관점에서 분석하여, 국방아키텍처 프레임워크에 따라 구조를 개념화하고 요구사항을 기반으로 국방 아키텍처 프레임워크 관점에서 설계한다. 마지막으로 미래전을 대비한 Army Tiger 4.0 발전을 위한 개념을 제시한다.

II. Army Tiger 4.0 체계 요구능력

2.1 Army Tiger 4.0 개요

2.1.1 배경

4차 산업혁명은 사이버 공간과 물리적 세계를 융합하는 초지능, 초연결 기술을 중심으로 우리 사회 전반에 급격한 변화를 가져오고 있다. 민간 분야에서는 인공지능, 빅데이터, 무인

화기술 등이 활용되고 있고, 국방 분야에서는 관련 신기술을 활용한 무인·로봇 개발, 개인의 전투능력 향상 등이 추진되고 있다. 이렇듯 4차 산업혁명 기술들이 국방 분야에도 적용되면서 전쟁 양상이 변화할 것으로 예상된다.



〈그림 1〉 미래전 환경과 전투수행 모습

* 출처 : https://www.army.mil/article/234845/futures_and_concepts__new_force_structure

전장 공간 측면에서 지상·해양·공중 중심의 전통적 공간에서 사이버 및 우주공간이 추가된 네트워크 중심의 5차원 공간으로 전장이 확장될 것이다. 그리고 전투수단 측면에서 네트워크 중심, 무인·로봇, 신개념 무기체계 등의 활용이 증가할 것으로 예상된다. Network를 통해 실시간 정보공유가 가능해지고 레이저, 전자기파와 같은 신개념 무기체계도 활용될 것이다. 전투형태 측면에서 첨단 정보체계를 통해 과거의 대량 파괴·살상을 수반하지 않고 전략적 중심을 마비시키는 스마트 전쟁 수행이 가능할 것으로 보인다. 즉 실시간으로 정보수집과 전달을 수행함으로써 전장 운용인력 절감 및 인명피해 최소화가 가능할 것이다.

2018년 9월 13일 일산 킨텍스 전시장에는 육군 방위사업 전시회인 'DX 코리아 2018'이 개최됐다. 전시장에서는 중동지역 수출용 K-2 흑표 전차, 우리 육군의 최신예 헬기인 AH-64E 아파치 가디언, 천무 다연장 로켓포의 지상 전시는 물론, 육군의 최신예 장갑차와 전차들의 화려한 기동시범으로 우리 육군의 발전된 위상을 보여줬다.

그러나 육군의 발전된 모습과 미래상을 진짜 볼 수 있었던 세미나에서 발표된 각종 연구결과와 보고서에서 육군은 과거와 전혀 다른, 제2의 탄생에 가까운 혁신적인 전망을 제시하였다. 그중에서 특히 주목할 만한 것은 미래지상군발전 국제심포지엄이었다. 이 심포지엄에서 육군참모총장은 “지금 육군은 워리어 플랫폼, 드론봇 전투체계, Army Tiger 4.0[01] 등을 구현하며 최첨단 과학군으로 변혁해가고 있다”고 말했다. 이 중에서 워리어플랫폼과 드론봇 전투체계에 대해서는 이미 그 가능성을 모색하고 실행 방안을 찾는 전투실험 단계에 이르렀지만, Army Tiger 4.0계획은 공식적으로는 처음 알려졌다.

2.1.2 Army Tiger 4.0 개념

Army Tiger 4.0 체계란 4차 산업혁명 기술을 기반으로 모든 전투 플랫폼을 기동화·네트워크화·지능화하여 미래의 다양한 불특정 위협에 더 빠르고 치명적으로 대응하기 위한 유·무인 복합 전투체계로서, 미래 지상 전투체계의 지향점이며 첨단과학기술군의 결정체이다 [02].

Army Tiger 4.0은 육군을 의미하는 ARMY와 Transformative Innovation of Ground forces Enhanced by the 4th industrial Revolution technology(4차산업혁명기술로 강화된 지상군의 획기적인 혁신)의 앞 철자를 딴 TIGER의 합성어로, “4차 산업혁명 기술로 지상군의 혁신”을 이루는 계획을 의미하며, 모든 전투 플랫폼에 AI를 비롯한 4차 산업 혁명의 신기술을 접목해 기동화/네트워크화하여 전투원의 생존성과 효율성을 극대화하는 개념이다.

육군은 ‘5대 게임체인저’를 이을 ‘10대 차세대 게임체인저’ 전력화를 위한 육군의 구상도 점차 진전을 이뤄나가고 있다. 5대 게임체인저는 위리어플랫폼, 드론봇, 고위력 미사일, 기동군단, 특임여단 전력이며, 10대 게임체인저는 레이저, 초장사정 무기, 유·무인 복합전투체계, 스텔스화, 고기동화, 양자기술, 생체모방 로봇, 사이버&전자전, 인공지능(AI), 차세대 위리어플랫폼 등이다.



〈그림 2〉 Army Tiger 4.0 작전수행 개념도

* 출처 : 육군본부 네이버 블로그

Army Tiger 4.0의 전투 수행개념의 핵심키워드는 바로 ‘초연결’, ‘초융합’, ‘초지능’이다. 초연결은 IoT(사물인터넷)를 통해 사람, 사물 등 개체간의 상호연결성이 확장됨을 뜻하고, 초융합은 초연결을 전제로 오픈 알고리즘과 AI 데이터를 통해 얻은 정보를 빠르게 분석하는 것을 말하며, 초지능은 초연결과 초융합을 통해 분석된 정보들을 바탕으로 최적의 의사결정을 내리는 것을 말합니다. 쉽게 말해서 드론과 로봇을 이용해 실시간으로 신속하게 표적을 식별하면, 지능정보센터에서는 이를 바탕으로 최적의 전략을 수립해 전투원들에게 전달하고, 전투원들은 네트워크화된 장비(차륜형 장갑차, 무인 차량, 공격 드론 등)들로 신속하게 작전을 수행하는 것이다. Army Tiger의 기술적 요소를 살펴보면, 크게 네 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째로 ‘기동화’다. 기동화는 미래 작전환경에서 작전공간을 확대하고 작전템포를 배가시켜 비선형전을 수행할 수 있도록 기동능력을 향상시키는 것이다. 기동력의 향상은 아군의 전투력을 적보다 시·공간적 유리한 지역으로 이동시키거나 선점하게 함으로써 작전의 주도권을 장악할 수 있게 한다. 또한, 다양한 방향에서 고속 기동할 수 있는 능력은 적의 중심을 마비시키고 전승 달성을 용이하게 할 것이다.

육군 전투부대에 대량의 차량을 도입, 기동성을 강화하는 것, 특히 일반 보병사단의 기동성을 중점적으로 강화한다. 현재 7군단 예하의 기계화사단은 대량의 전차와 장갑차를 운용해 상당한 수준의 기동성을 갖추고 있지만, 육군의 수적 주력인 보병사단들은 기동작전에 필요한 장갑차와 기동차량의 숫자가 부족한 실정이다. Army Tiger 4.0은 보병사단에 소형 전술 차량, 고기동 차량, 차륜형 장갑차 등을 대량으로 보급한다는 계획이다.



〈그림 3〉 Army Tiger 4.0 기동화

* 출처 : 첨단과학기술 구현된 지상전투체계 Army Tiger. 국방일보

두 번째 기술요소인 ‘네트워크화’를 통해 전투 효율을 더욱 높일 것이다. 네트워크화란 모든 전투원과 전투플랫폼을 다양한 통신수단을 통하여 네트워크로 촘촘히 연결하는 것으로 분산된 작전환경에서도 실시간에 정보를 공유하게 하여 전장을 가시화하고, 실시간 지휘 통제 및 다양한 전력의 통합운용을 가능하게 한다. 네트워크화된 기동부대는 개별전투원까지 전장상황을 공유하게 하여 준비된 상태에서 교전에 임할 수 있도록 하고, 지휘관들에게 실시간 다양한 정보를 제공하여 보다 신속, 정확한 지휘결심을 보장함으로써 다양한 상황에서 보다 기민하게 대응할 수 있도록 보장한다.

RCWS(Remote Controlled Weapon Station)에 장착된 조준장비는 수km 밖의 적을 탐지할 수 있는데, 이를 활용해서 전투 상황을 파악할 뿐만 아니라 기동차량에 탑재된 통신장비를 활용해 지휘부에 전장의 상황을 제공해 준다. 기동 트럭이 보병 수송, 화력 지원은 물론 전장의 움직이는 CCTV가 되는 것이다. 이를 통해 지휘부는 무전으로 보병부대의 상황을 보고받는 수준을 넘어서, 실시간으로 전장의 상황을 정확하게 파악할 수 있어 지휘 통제 능력이 비약적으로 향상된다.



〈그림 4〉 Army Tiger 4.0 네트워크화

* 출처 : ‘첨단과학기술 구현된 지상전투체계 ‘Army Tiger’. 국방일보

세 번째 기술요소로, Army Tiger 4.0 부대는 ‘인공지능화’로 기존 지상부대보다 훨씬 뛰어난 지휘통제 능력과 작전능력을 갖는다. 지능화는 모든 플랫폼에 인공지능 기능을 탑재하여 전투원이 수행하던 다양한 기능을 무인 자율시스템에 의해 대체하는 것이다. 무인로봇, 드론이 전력화되어 인간의 특성으로 인해 제한되었던 힘들고 위험한 임무를 수행하게 함으로써 지상작전에 혁신적인 영향을 미치게 될 것이다.

RCWS에서 포착한 적의 영상을 실시간으로 전달받는 것을 넘어서, 여러 기동차량에서 보고되는 영상 및 각종 정보를 활용해 적의 정확한 상태를 파악하고, 병원에서 CT 영상을 분석해 병을 진단하는 인공지능 ‘왓슨’처럼, 인공지능은 빅데이터를 활용해 지형적 이점과 최적의 기동로를 분석하고 적의 이동방향과 공격축선을 예측해 이를 지휘관에게 알려주면, 지휘관은 이 정보를 활용해 전투를 승리로 이끈다.

마지막 네 번째 기술요소는 ‘로봇화’이다. Army Tiger 4.0에서는 단순히 기동장비를 더 구매하는 것이 아니라, 기동장비의 임무 역할을 혁신시킨다. 가장 핵심 장비는 병사들이 타는 자동차와 장갑차, 트럭에 로봇 포탑이라 할 수 있는 RCWS이다. RCWS는 사람이 직접 조준하고 발사하는 대신 모터와 조준기를 사용해 조준하는 일종의 원격 조종 기관총으로, 사수는 방아쇠 대신 모니터 화면과 조이스틱으로 기관총을 발사한다. 이로써 더 안전하고, 정확도도 높아진다. 기관총을 트럭 지붕 위에 얹는 것보다 훨씬 효과적인 지원 화력이 된다.



〈그림 5〉 Army Tiger 4.0 로봇화

* 출처 : ‘첨단과학기술 구현된 지상전투체계 ‘Army Tiger’. 국방일보

Army Tiger 4.0 구현을 위한 기동화, 네트워크화, 지능화, 작업은 단계적으로 추진된다. 가시적인 변화가 느껴지는 분야는 기동화이다. 현재 차륜형 장갑차로 전방사단의 예비여단, 예비사단의 일부 보병대대의 우선적인 기동화 작업과 함께 중형 전술차량의 개발 및 전력화 준비가 한창이다. 이어 육군은 2025년 전후로 예비사단의 보병대대까지 추가 기동화한다. 2020년대 후반에는 드론 로봇 등을 기동체계에 장착하고 유·무인 복합 소형 전술차량, 기동 수송드론을 전력화해 다영역 입체 기동능력을 확보한다. 2030년대 중반까지 육군 전 제대의 기동화 완료가 목표다.

또 육군은 네트워크화를 위해 2025년 전후로 위성 기반 통합네트워크 체계를 구성할 수 있도록 군 위성통신체계-II 등을 전력화하고 소부대무전기-II를 각개 전투원에게까지 지급해 초연결 기반을 확보할 방침이다. 2030년대 초중반에는 모든 전투 플랫폼을 통합네트워크 체계에 연결한다는 큰 그림을 그리고 있다.

지능화 분야에서는 AI 시범사업 추진, 장비 도입, 관련 법령 개정, 빅데이터 구축 노력과 기반체계 확보 노력이 병행되고 있다. 2030년대 중반에는 육군지휘통제체계를 전력화해 전투원이 수행하던 다양한 역할을 자율주행 해결 결심의 무인 자율시스템으로 대체해나간다는 구상이다.

또한, 육군은 전투효율성과 생존성을 극대화해 병력감축의 상쇄 효과를 달성하기 위한 워리어플랫폼을 특전사를 포함한 야전부대에 보급을 지속한다. 부대 임무와 우선순위를 고려해 보급대상을 기존 4만4000명에서 14만 명으로 확대한다는 계획이다. 향후 과학기술 발전 추세를 반영한 성능의 진화를 거듭해 2030년 이후 일체형 개인전투체계로 통합한다는 구상이다. Army Tiger 4.0이 실현된 육군은 지금과 비교해 어떻게 달라질 것인가.

첫째, 빨라진다.

전투원을 포함한 모든 전투플랫폼이 다양한 수단으로 기동화돼 다영역 전장을 누비며 전투력을 투사하고 신속히 작전을 종결한다.

둘째, 연결된다.

위성 중심의 다계층 통합네트워크 등 다양한 통신수단으로 상호 초연결된 전투원과 전투 플랫폼이 전장을 실시간으로 가시화하고, 탐지 및 정밀타격(Sensor to Shooter) 체계를 기반으로 한 치명적인 작전이 이뤄진다.

셋째, 똑똑해진다.

인공지능(AI) 기술이 전장인식, 의사결정, 전투력 운영, 작전지속지원 등 광범위한 분야에 적용된다. AI 참모가 다양한 변수에 대한 최적의 방책과 전투 수행방법을 제안하고, AI 기능이 탑재된 지상전투체계가 지상군 전력의 핵심으로 활약한다.

이렇듯 Army Tiger 4.0은 AI, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일 등 4차 산업혁명의 핵심기술로 기동화, 네트워크화, 지능화를 이룩한 지상군 전투체계의 혁신을 예고하고 있다. 싸우는 방법이 달라지면 부대 구조도 변화한다. 육군은 Army Tiger 4.0의 특성과 미래전의 양상을 고려해 네 가지를 중점으로 새로운 부대구조를 설계하고 있다.

첫째, 각 제대의 독자적 독립적 작전능력 강화다.

소규모 하위 제대까지 감시-결심-타격 능력을 구비시켜 다영역 작전 능력을 통합 발휘할 수 있도록 편성하는 분권화 전략이다.

둘째, 유·무인 복합체계 적용이다.

드론봇 등 유·무인 전투체계 운용에 적합한 부대구조로 전환해 인명 존중의 전투 수행방식을 구현하고 전투 효율성을 증대시킨다.

셋째, 지휘체통의 단순화다.

부대구조에서 지휘계층과 대상을 줄이는 방식으로 유 무인 통합작전을 효율적으로 수행하고 전장 인식 기반의 신속 결정 작전을 수행한다.

넷째, 기동화 및 네트워크 여건 보장이다.

전 부대를 전투차량과 유·무인 복합체제로 기동화하고, 전투원과 모든 제대를 다계층 통합 네트워크로 연결해 시 공간의 제약을 초월하는 임무 수행 능력을 갖춘다.

지상군 전투력의 혁신을 이끌 Army Tiger 4.0은 실현 가능성이 있을까? 로봇과 인공지능이 도입되고, 행군하지 않는 부대를 만든다는 계획은 일견 허황된 내용이라고 생각할 수도 있지만, 우리 Army Tiger와 상당히 비슷한 시도는 이미 여러 선진국에서 실용화되고 있다. 그중에서도, Army Tiger와 가장 유사한 계획은 프랑스의 스콜피온(Scorpion) 프로그램[03]이다.

우리 육군의 Army Tiger 4.0은 많은 비용이 들어가는 신규 장갑차량 개발을 하지 않는 대신, 스콜피온처럼 모든 차량이 네트워크 능력을 갖도록 개조하고, 단순히 네트워크로 적절한 정보를 주는 것을 넘어서, 인공지능과 빅데이터로 지휘관이 보다 더 빠르고 정확한 결심을 할 수 있도록 도와준다는 점이 다르다. 스콜피온과 지향점은 비슷하지만 그야말로 4차 산업혁명의 기술을 유감없이 발휘하는 셈이다.

2.1.3 프랑스 Scorpion 프로그램

프랑스 육군의 전투력을 획기적으로 개선하기 위한 것으로, 크게 세 부분으로 나뉘는데, 우선 부대의 지휘를 위한 스콜피온 전투 정보 시스템 SICS(Systeme d'Information du Combat SCORPION)을 구축한다. SICS는 기존 프랑스 육군의 주력 전투차량인 르플레르 전차와 VBCI 보병 전투차, 기동헬기에 고성능 데이터 링크를 장착하고, 현장에서 보고되는 정보를 종합하여 태블릿 PC와 유사한 단말기에 전투 정보를 일목요연하게 표시한다.

차량뿐만 아니라 보병 개개인이 SICS의 정보를 사용할 수 있도록 보병 전투체계

FELIN(Fantassin a Equipements et Liaisons Integres)에 헬멧 디스플레이와 첨단 무전기, 그리고 무선 통신으로 실시간 영상 전송이 가능한 다목적 망원경 등을 보급, 지휘부가 야전의 상황을 실시간으로 파악하고 병사는 전술 단말기로 자신의 위치와 명령을 전달받는다.

마지막으로 SICS에 최적화된 새로운 지상 차량 2종을 개발하는데, 그리폰 VBMR(vehicule blinde multi-roles) 장갑차는 24톤의 무게의 차륜형으로, 10명의 FELIN 보병이 3일 동안 작전할 수 있는 물자를 탑재할 수 있다. RCWS 포탑을 장착할 수 있어 VBCI 장갑차보다 화력은 약하지만 보병 수송능력과 장거리 작전능력이 더 뛰어나다. 재규어 ERBC(Engin Blinde de Reconnaissance et de Combat) 장갑차는 보병이 탑승하지 않는 정찰용으로, 뛰어난 조준장비와 40mm 기관포, 대전차 미사일을 탑재해 VBCI 장갑차보다 뛰어나 화력을 가지고 있다.



〈그림 6〉 프랑스 스콜피온 프로그램

* 출처 : 'Le programme Scorpion', Ministry of the French Armed Forces. October 24, 2017.

프랑스가 자동화와 군사력 강화를 고려해온 것은 몇 년 전부터이다. 2010년 스콜피온 연구 개발단계의 시작을 위원회가 승인했고, 2014년 장 이브슬 드리앙 프랑스 국방장관은 2014~2019년 LPM(Loi de Programmation Militaire)으로 알려진 국방예산 계획법에 따라 스콜피온 프로그램의 1단계를 발표했다. 마침내, 2016년, 프랑스 정부는 육군 스콜피

온 현대화 프로그램을 위해 11년 동안 68억 달러의 투자를 결정했다.

2020년 육군의 현대화 계획에 통합된 스크피온 프로그램은 2018년부터 두 플랫폼(VBMR 및 EBRC)의 중앙접촉 전투 능력과 “Scorpion”으로 알려진 독특한 전투 정보 시스템(SICS)을 갱신하는 것을 목표로 한다. 최신 기술을 통해 다양한 시스템의 네트워크를 구축하여 전술적 군사 효과를 얻을 수 있다. 이 프로그램에는 레클레르 탱크 및 승무원 훈련의 온보드 3D 시뮬레이션도 포함되어 있다. 이 훈련은 임베디드 시뮬레이션 프로그램인 심바(Semba)에 의존해 승무원들이 차량과 현장, 베이스에서 ‘작전 훈련’을 거치게 된다.

이 프로그램은 프랑스의 산업 및 방위 기반 육성을 강조하는 프랑스 산업 컨소시엄에 의해 수행된다. 예를 들어 VBMR-L(경량 다역량 장갑차)은 넥스터, 탈레스, 르노 트럭 디펜스가 속한 컨소시엄이 생산한다. 현 주문에서 자금을 지원받은 VBMR-L 차량의 1차 배치에는 2025년까지 689대의 개발, 생산, 전력화가 포함된다. 이 프로그램의 다른 중요한 요소로는 그리폰 다역군 수송기와 재규어 전투차량이 있다. 실제로 프랑스 정부는 새로 디자인된 장갑차 플랫폼 두 가지를 발주했다. 탈레스, 넥스터, 르노트럭스 디펜스는 6×6 다역급 병력 운송 차량 그리폰과 40mm 함포와 대전차 미사일로 무장한 6×6 재규어 300여 기종을 납품할 예정이다.



〈그림 7〉 스크피온 작전 수행 개념도

* 출처 : ‘Le programme Scorpion’, Ministry of the French Armed Forces. October 24, 2017.

그 외에도, 스킵온 프로그램은 다른 유럽 군대들 간의 상호 운용성을 강화하는 필수적인 도구로 인식될 수 있다. 실제로, 다른 유럽 국가들이 그것을 실행하는 것에 열심인 것처럼, 그것은 역할 모델로 보일 수 있다. 예를 들어 2017년 벨기에 국방장관 스티븐 반데푸트와 프랑스 국방장관 플로렌스 파리는 육상 이동성 분야에서 양국 간 협력에 관한 의향서에 서명했다. 이를 위해 벨기에는 재규어형 신형 전투차 60대를 16억 유로에, 그리폰형(Challenges; 2019)에 속하는 경전차 382대를 사들일 예정이다. 국가는 또한 공통 업그레이드와 함께 지원 분야(즉, 훈련, 물류 지원 및 유지관리)에 협력할 용의가 있어, 벨기에는 토지 이동성 측면에서 프랑스와 동일한 원칙을 공유할 용의가 있음을 시사한다.

프랑스 육군의 현대화 모델은 전투 능력을 변화시키는 것 외에도, 전투 지원 및 물류 플랫폼을 도입, 대체 또는 개량할 것으로 판단된다. 물리적으로, 방호되는 정찰 차량(VBA), 기갑 엔지니어 차량(MACPAC), 고정설치 자동화된 120mm 박격포(Griffon), 로지스틱 플랫폼(PPT), 업그레이드된 방공 시스템(UAS), 일련의 감시 장비, 그리고 그들의 운영에 대한 향상된 기능을 제공한다. 자체 추진 포병(Caesar)은 보다 치명적이고 정밀한 포격을 포함한다. 이 전투 및 전투 지원 플랫폼 개선은 명확한 미래 역량과 경쟁 우위를 제공할 것으로 주장한다.

프랑스 육군에 따르면, 연결성은 현대화 의제의 실질적 무게중심이 된다. 연합 BMS(SICS)와 전투 통신 시스템(COUNT)은 처음으로 모든 전투 수행 플랫폼과 전투 지원 플랫폼 간에 최첨단 센서 연동, 데이터 융합, 인간/기계 인터페이스, '디지털 네트워킹'을 가능하게 한다. 이러한 통합적 연결은 공격, 방어, 심지어 군수와 같은 개인 및 집단 행동을 가속화하는 능력뿐만 아니라 비할 데 없는 거의 즉각적인 상황 인식 공유를 가능하게 한다. '협력적 전투'로 지정된 이 새로운 작전 및 전투 방식은 현대화 계획의 치명적인 변화, 이동성 및 보호와 통합되어 프랑스 육군의 연합군이 미래를 대비할 수 있도록 하는 목표를 구현한다.

현대화 프로그램의 물리적 집중의 마지막 요소는 첨단 기술에 대한 투자이다. 이 노력은 프랑스 육군의 새로운 '디지털화 및 혁신' 사단과 예하부대에 의해 구현되고 강화되고 있다. 현대화 우선 아래 프랑스 육군은 무인 시스템, 원격 무기 스테이션, 전술 사이버 능력, 여유로운 군수 지원, 에너지 무기, 전자전(EW) 및 인증 관리 장치, 증강/가상 현실 기술, NRBC-D 장비, 인공지능 지원을 포함하고 있다.

현대화 프로그램의 물리적 집중력과 함께 창의성을 포함하고 있다. 이전의 프랑스 육군 계획을 포함한 많은 지상군 현대화 모델과는 달리, 단지 플랫폼 지향적인 것이 아니다. 오히려 프랑스 육군의 훈련, 작전, 전투, 승리 방식을 변화시키려 한다. 따라서, 애초부터 현대화

의제는 프랑스 육군의 교리, 훈련, 그리고 미래 고강도 분쟁 중에 싸울 가능성이 가장 큰 동맹국과의 상호운용성을 변화시키는 데 초점을 맞추었다. 현대화 모델을 설계하면서, 프랑스 육군은 연합군 능력을 변화시키기 위한 모든 중요한 입력, 즉 선도적 훈련의 우선순위를 정했다. 프랑스 육군은 이미 분석된 전투팀 연합 훈련을 전투 그룹 레벨 플러스(+)로 격상시키기 위해 현대화 프로그램을 활용하고 있다. 현대화 모델을 통해 전투 훈련 시설 및 인증 센터를 대폭 개선하고 있다.

프랑스 육군의 현대화 프로그램의 다른 모델 특성은 역량 집중이다. 이러한 초점은 프랑스 육군의 최첨단 능력 획득과 앞서 언급한 미래 준비에 대한 필수 입력의 체계적 순서 지정에서 매우 명확하다. 중요한 것은 이 능력 강조는 프랑스 육군의 지속적인 연합 무기체계와 작전 중심적이고 임무 명령에 충실하다. 이에 따라 현대화 계획의 초기 역량 목표는 2021년까지 ‘스코피온 전투단’을, 2023년까지 ‘스코피온 전투여단’을, 2025년까지 ‘스코피온 사단’을 전력화하는 것이다. 이 프로그램은 또한 프랑스 육군의 높은 대비 태세 부대의 구성과 능력에 긍정적인 변화를 가져오고 있다. 모델의 역량에 초점을 맞춘 마지막 예는 현대화 이후의 ‘우리가 어떻게 싸울 것인가’에 대한 프랑스 육군의 초기 정의이다. 이 정의는 종종 지상군 현대화 설계자를 배제하고 프로그램의 첫 AFV 제공 5년 전에 확립된 것으로, 간단하고 잘 이해되며 프랑스 육군의 교리 개발, 훈련 전환 및 플랫폼 제공을 설명한다.

프랑스 육군의 지도부는 내부 혼란과 점점 더 불확실해지는 지정학적 상황으로부터 이 프로그램의 오랜 일관성을 지키기 위해 노력한다. 또한, 계획이 포괄적으로 유지되도록 지속적인 노력을 기울이고 있다. 즉, 나선형 개발, 신기술 및 상호운용성 요구사항에 적응한다. 이 모델이 프랑스 육군이 미래의 전장에서 단독으로 또는 동맹국들과 ‘어깨를 맞대고’ 싸워 이길 수 있도록 하는 능력 우위를 확실히 전달하기 위한 지속적인 도전이다. 종종 현대화의 ‘헤비메탈’ 표현에 독점적으로 초점을 맞추는 것은 군사적 경향보다 프로그램의 혁신적 철학을 우선시하는 것과 동등한 도전이다.

거의 20년 전에 구상되어 현재 최초의 사례를 제공하고 있는 프랑스 육군의 현대화 프로그램은 충분한 가치가 있다. 이 계획의 대담한 목적, 넓은 초점, 그리고 혁신적 철학은 독특하다. 광범위한 실질적 집중과 독창적인 철학은 그것을 모범적인 계획으로 만든다. 독특한 맥락이나 상황을 제외하고, 일관성, 포괄성, 능력 지향, 비용 효과 및 과제 중심의 훌륭한 특성은 유사한 현대화 목표를 추구하고 동등한 도전과 위협에 직면하는 많은 다른 나라의 군대에 심오하고 독창적인 교훈을 제공한다. 스키피온 계획의 주요 편성장비와 주요 성능은 아래와 같다.

■ VBMR Griffon

프랑스군은 2000년대 초부터 VAB를 대체할 준비를 해왔다. 육군 2020 국방백서에 따르면 2018~2025년 최대 2,122대의 VBMR 차량[04]을 구매할 계획이다. 넥스터, 탈레스, 르노 트럭 디펜스 컨소시엄이 이 차량을 제작하고 있다. 같은 컨소시엄은 프랑스 육군을 위해 EBRC 재규어 정찰 및 전투 차량을 제작하는데, 이 차량은 프랑스 육군의 70%를 VBMR 그리폰과 공유하고 있다.



이 차량은 6×6 상용 전지형 트럭을 기반으로 하며 최대 8명의 병력을 태울 것이다. 현재 그리폰의 6가지 버전이 계획되어 있으며, 이들 중 4개 버전(기갑형 병력 수송, 지휘소, 앰블런스, 포병 감시기)이 첫 번째 트랑슈에서 주문되었다. 2021년 이후에는 훨씬 가벼운 4×4 버전을 주문할 수 있으며, 이는 정찰용 차량으로 사용된다.

이 차량은 간단한 유지 보수와 군수를 위해 설계되었다. 예를 들어 그리폰과 재규어는 표준 상용 트럭 엔진을 사용하며, 이 엔진은 더 넓은 범위의 연료를 사용하도록 개조되었다. 이 차량은 화학, 생물학적, 방사선 위협으로부터 부대 내부를 지속적으로 보호하기 위한 과압 시스템을 갖추고 있다. 더운 기후에서의 서비스를 위해 그리폰에는 에어컨이 장착되어 있다.

그리폰은 12.7mm 또는 7.62mm 기관총 또는 40mm 자동 유탄발사기로 무장할 수 있는 원격 무기 스테이션을 갖추고 있다. MMP(Missile Moyenne Porte) 대전차 유도탄 2기의 추가는 선택 사항이다. 연막 수류탄 발사대 8대가 원격 무기 스테이션에 장착되며, 여기에는 음향 저격수 지역화 시스템도 포함된다.

주요제원으로 무게 24.5톤, 폭 2.5m(8ft 2in), 높이 3.0m(9ft 10in), 승무원 2(운전병, 소총수), 승객 8, 엔진 298kW(400hp), 서스펜션 6륜 구동, 작전 범위 800km (500mi), 최대 속도 110km/h(68mph) 이다.

■ EBRC Jaguar

프랑스 육군의 2020년 국방백서에 따르면 2020년부터 AMX 10 RC와 ERC 90 차량을 퇴역시키고, 이를 신형 장갑정찰차 250대로 교체할 계획이다. 신차 개발과 생산을 위해 넥스터, 탈레스, 르노트럭스 디펜스 컨소시엄이 프랑스 육군을 위한 VBMR 그리폰 다기능 장갑차[05]를 제작한다.



이 차량은 6×6 상용 전지형 트럭에 기반하고 표준 상용 트럭 엔진을 사용한다. 엔진은 더 넓은 범위의 연료를 사용하도록 개조되었다. 재규어는 화학, 생물학, 방사능 위협으로부터 보호하기 위해 기갑부대의 지속적인 과압을 유지하기 위한 과압 시스템을 가지고 있다. 더운 기후에서의 서비스를 위해 재규어는 에어컨이 장착되어 있다.

이 차량은 14.5x114mm 장갑 천공탄, 155mm 포탄 파편, 10kg (22lb) 기뢰 폭발로부터 방어하는 STANAG 4569 레벨 4의 장갑 보호 장비로 제작되었다. 전자 방어에는 IED에 대응하기 위한 탈레스 그룹 바리지 활성 교란 장치, 2 세트의 안타레스 미사일 경보 시스템, TDA Armement 활성 차단 시스템, 지붕 장착 Metravib Pilar V 사격 로케이터가 포함된다.

주요 무기는 2인용 포탑에 장착된 CTA 인터내셔널 CT40 포탄으로 40mm 케이스 망원탄을 발사하며 분당 200발, 최대 유효 사거리 1,500m이다. Turret Launch에 MMP 대전차 유도탄 2기가 장착되며, 2기의 재장전이 내부에 저장됩니다. 또한, 포탑 상단에 장착된 7.62mm 원격조종 기관총과 8개의 연무수류탄을 운반한다. 재규어는 대포를 45도 위로 들어 올려 공중 목표물을 향해 발사할 수 있다.

주요제원으로 무게 25톤, 승무원 3(지휘관, 운전병, 소총수), 엔진 500hp, 서스펜션 6륜 구동, 작전 범위 800km (500mi), 최대 속도 90km/h(56mph) 이다.

■ Leclerc Tank

샤르 르클레르(Char Leclerc)[06]는 프랑스의 넥스터(Nexter)인 GIAT가 제작한 주력 전차이다. 제2차 세계 대전 당시 자유 프랑스 제2기갑사단을 지휘하던 중 파리로 향하는 프랑스군을 이끌었던 필리프 르클레르 드 하우테클로크 장군의 이름을 따서 명명되었다.



르클레르는 부르주(EFAB)의 무기고가 CN120-26으로 설계한 120mm 모듈 F1 스무스보어건으로 무장하고 있다. 배럴은 그 세대의 대부분의 주요 전차에서 공통적으로 사용되는 44개의 칼리브가 아닌 52개의 칼리브로 더 높은 총구 속도를 제공한다. 모듈 F1은 120x570mm NATO 탄약과 호환된다. 이 총은 마그네슘 합금 열 슬리브와 자동 적재 메커니즘을 특징으로 한다.

자동 장전은 Turret Busle 내부에 위치하며 CHA(프랑스어: Chargement Automatique, “자동 로딩”)로 지정되어 있으며, Creusot-Loire Industrie가 설계하였다. 자동 적재기의 무게는 500 kg이며, 총 부피는 1.68 m³(1.40 x 2.40 x 0.50 m)이다.

르클레르에는 12.7mm 동축 M2 중기관총과 지붕 장착 7.62mm 기관총이 장착되어 있

지만, 다른 나토 전차들은 동축 및 상단 기관총 마운트에 모두 7.62mm 무기를 사용하고 있으며, 주요 예외는 7.62mm 동축 기관총과 상단 장착 기관총 2개는 7.62mm와 12.7mm짜리 각각 하나이다.

포탑과 선체는 탈착식 복합 장갑 모듈이 장착되는 두께가 30~50mm인 용접 강판으로 제작됐다. 12개의 모듈이 Turret을 에워싸고 있으며(측면당 6개), 1부터 6까지 번호가 매겨져 있다. 모듈은 섬유 유리로 만들어진 미끄럼 방지 코팅으로 덮여 있다. 자동 장전장치가 포함된 포탑 부스터기는 RPG-7과 같은 어깨 발사 대전차 무기와 30mm 장갑 천공 라운드로부터 양쪽으로 보호된다. Turret 주변과 Turret에 있는 복합 보관함은 3중 역할로 공구 세트를 운반하고 레이더 단면을 축소하며 간격 장갑 역할을 한다.

레클레르에는 8기통 SACM(현재의 Wertsil²) V8X-1500 1,500hp 하이퍼바 디젤 엔진과 SESM(현재의 렌크 AG) 자동 변속기가 탑재되어 있으며, 전진 5단, 후진 2단 기어가 탑재되어 있다. 도로별 공식 최고 속도는 71km/h와 55km/h이다(도로에서 80km/h를 초과하는 속도도 보고됨). 최대 사거리는 550km이며 탈착식 외부 탱크를 사용하여 650km까지 연장할 수 있다.

주요제원으로 중량은 시리즈 1, 54.5톤, 시리즈 2, 56.3톤, 시리즈 XXI, 57.4톤, 길이 9.87m (총이 없으면 6.88), 폭 3.60m, 높이 2.53m, 승무원 3(지휘관, 소총수, 운전병), 주 무장 GIAT CN120-26/52 120mm 탱크포, 40발(챔버에서 발사 준비 1발, 선체에 18발 실린더 추가 장착 자동 적재 매겨진 내부 22발), 보조 무장 12.7mm 동축 M2HB 기관총(1,100발), 7.62mm 기관총(3,000발), 엔진 V8X SACM(Wärtsil²) 8기통 디젤 엔진 1,100kW(1,500hp), 동력/중량 27.52 hp/tonne, 전송 자동 SESM, 서스펜션 수압, 연료 용량 1300L(연료 드럼 포함 1700), 작전 범위는 550km, 외부 연료 포함 650km(400mi), 최대 속도는 도로 주행 71km/h(44mph), 야지 주행 55km/h(34mph) 이다.

■ Blinde Leger

Blinde Leger[07]는 경장갑차(Light Armored vehicle)으로 프랑스 판하르트(Panhard)가 제작한 4x4 전천후 차량이다. 이 차량은 다양한 구성으로 제공되고 있으며 푸조 P4 연락 차량의 민첩성과 소형 무기 소총, 포병 파편, 지뢰, NBC 무기 등에 대한 적절한 보호를 결합하도록 설계되었다.

VBL에는 두 개의 칸이 있다. 모터 베이는 승무원을



위한 두 번째 칸을 보호하기 위해 앞으로 배치된다. 내부 치수가 작아서 VBL의 확장 버전이 설계되었다. VBL의 승무원들은 NBC 무기로부터 보호받고 있다. 레크세이션은 2명의 승무원이 있고 대전차 버전은 3명의 승무원을 수용한다.

프랑스 육군 버전의 VBL에는 푸조 XD3T 터보 디젤 엔진이 탑재되어 있다. 이 엔진은 푸조 505, 푸조 605, 텔벳 타고라 같은 많은 민간 자동차에 사용된다. VBL은 다른 많은 표준 민간 부품들도 사용한다. 95마력(71kW)의 출력과 29.5hp/t(22.0kW/t)의 출력비를 통해 VBL이 95km/h(59mph)의 속도로 주행할 수 있다. 연료 소비량은 100km(62mi)당 16L(3.5임펄, 4.2US 갤)이다. 주행 거리는 2개의 외부 연료 탱크를 통해 800 km (500 mi)까지 확장될 수 있다. 3.5t(길이 3.4t, 짧은 3.9t)보다 가벼워진 VBL의 질량은 무기, 장갑, 시스템 추가 등으로 4t(길이 3.9t, 짧은 4.4t)으로 늘었다. VBL은 완전히 수륙양용이며 물속에서 5.4km/h(3.4mph)로 주행하며, C-130, C-160, Il-76 및 A400M으로 항공 운송이 가능하다. AS332 슈퍼 푸마와 같은 대형 헬기로 운반할 수 있으며, 낙하할 수도 있다.

주요제원으로 중량은 3.5~4톤, 길이 3.80m (길이 4.00m 버전), 폭 2.02m, 높이 1.70m, 승무원 3명, 엔진 DW10FC으로 130hp, 동력/중량 29.5 hp/t, 서스펜션(지상고) 0.35m, 작전 범위 600~800km, 최고 속도 95km/h 이다.

■ VBMR-Light

프랑스 국방부는 넥스터에게 경량, 다기능 장갑차 (VBMR-L)의 개발, 조달, 지원을 위한 계약을 체결했다. 신형 4×4 차량은 프랑스 육군 현대화 프로그램인 프로젝트 스킨피온의 일부이며, VBMR-L, VBMR의 라이트 4륜 모델로서, Vehicule de l'Avant Blinde(VDB)를 2022년부터 대체하기 위해 2017년 11월에 선택되었다.



넥스터 그룹은 경량 VBMR의 비용 및 성능, 통합, 생산 및 지원에 대한 설계를 담당한다. 차량은 스킨피온 프로그램의 다른 차량인 VBMR-GRIFFON 및 EBRC-Jaguar와 함께 로안(Roanne)에서 조립될 것이며, 모두 넥스터, 탈레스, 르노 트럭 디펜스)로 구성된 프랑스 방위 산업 컨소시엄에 의해 제조된다. 이 계약에는 대형 중장비 차량의 차축 및 변속기 제조 업체인 텍셀리스의 변속기 차축 시스템 개발에 대한 상도 포함되어 있다.

스킨피온 프로그램(VBMR-Griffon, EBRC-Jaguar)에 따라 생산되는 다른 차량들처럼, VBMR-L은 넥스터, 탈레스, 르노 트럭 디펜스를 포함하는 컨소시엄에 의해 생산된다. 현재 주문에서 자금을 지원받은 VBMR-L 차량의 1차 배치는 2025년까지 689대의 차량 개발,

생산 및 전력화를 포함하며, 추가 주문을 하면 2030년까지 프랑스 VBMR-L이 2,000대에 이를 수 있다. VBMR-L의 초기 배송은 2022년까지 예상된다.

15톤짜리 이 차량은 10명의 병력을 수송하도록 설계되었다. 경량 VBMR-L은 병력 수송기, 정찰기(ISR), 통신 및 전자전(EW), 앰블런스, 사령부, 포병 사격 방향 차량 등 여러 가지 구성으로 실전 배치된다. 이 차량에는 원격 조작 병기 스테이션이 표준 장착되며, 스콜피온 통합 병기 편성과 완벽하게 통합될 수 있도록 현대 스콜피온 정보 통신 시스템(SIC-S) 네트워크 시스템을 채용할 예정이다.

2.2 Army Tiger 4.0 부대구조

현재 육군[02]은 3개의 전투여단 유형으로 다양한 제병협동 작전을 수행할 수 있는 보병 여단, 군단의 전술적 공세기동부대로 결정적 전투를 수행하는 기갑여단, 그리고 산악 및 애로지역 등 특정지역에 유리한 경보병여단 등이 제시되고 있는데 본 연구에서는 기갑여단을 중심으로 연구를 수행한다.

육군에서 구상중인 Army Tiger 4.0 체계의 여단의 임무는 지역 군단·사단의 일부로 작전·전술적 목표 달성에 기여하며, 증강된 능력을 바탕으로 단독작전 수행이 가능하고 제병협동작전을 수행하는 가장 기본적인 전술부대이다. 사단으로부터 임무수행에 필요한 전투단 편성을 편성하고, 사단의 결정적 작전 및 다양한 여건조성 등의 작전을 수행하며, 초연결·초지능·초융합 지휘통제 기반의 유무인 복합 전투체계를 활용하고 모든 영역의 능력을 통합하여 작전수행 임무를 수행한다.

기갑여단을 구성하는 주요부대는 여단 본부 및 본부중대, 기갑수색대대, 제병협동대대, 포병단, 전투지원대대, 그리고 전투근무지원대대로 구성된다. 여단 본부는 지휘부, 개인참모 및 특별참모와 참모장으로 구성되고, 여단 참모부는 인사과, 정보과, 작전과, 화력항공과, 작전계획과, 군수과, 그리고 정보통신과로 구성된다.

제병협동대대는 기갑여단의 일부로써 통합전투력을 발휘하는 전술수행의 기본단위부대로서 근접전투를 주로 수행한다. 제병협동대대에 전차중대와 기계화보병중대를 혼합 편성하여 다양한 작전환경에 신속하게 대응하고 작전 반응속도를 높일 수 있도록 하였다. 대대 본부는 참모부를 편성하고, 본부중대는 중대본부와 통신소대, 정비소대, 의무반과 대드론반으로 구성된다.

전차중대는 중대본부와 전차소대, 지원소대, 그리고 통신반과 정비반으로 구성된다. 전차소대는 유인전차와 무인전차로 혼합 편성되고, 지원소대는 120밀리 자주박격포 포대, 정찰 공격드론반, 대드론반으로 구성된다.

기계화보병중대는 중대본부와 기계화보병소대, 지원소대, 정비반과 통신반으로 구성되고, 지원소대는 120밀리 자주박격포 포대, 정찰공격드론반, 대드론반으로 구성된다. 전투지원대는 본부와 155밀리 자주곡사포대, 정찰소대, 공격드론반으로 구성된다.

기갑수색대대는 수색정찰과 경계작전을 수행하는 부대로서 여단의 작전수립과 전장가시화를 위한 아군, 적상황, 지형에 대한 정보를 제공한다. 여단의 주도권 및 기동의 자유를 보장하기 위해 적 위협, 배치 및 구성에 관한 정보, 조기경보를 제공하고 여단 전투력 보호, BDA(Battle Damage Assessment, 전투피해평가) 제공 등의 역할을 수행한다. 기갑수색대대는 본부 및 본부중대와 기갑수색중대, 드론봇중대로 편성된다. 기갑수색중대는 중대본부와 기갑수색소대, 지원소대로 편성된다. 기갑수색소대는 수색차량으로 구성된 수색반과 전차로 편성된 중수색반으로 편성된다. 지원소대는 120밀리 박격포로 편성된다. 드론봇중대는 본부와 정찰드론소대, 공격드론반, 대드론반으로 구성된다.

기갑여단 포병단은 여단의 임무를 달성하기 위해 가용 화력자산을 통합운용하여 여단의 핵심표적을 타격함으로써 근접작전에 유리한 여건을 조성하는 역할을 수행한다. 포병단은 작전부대의 기동 및 대기동을 포병화력으로 지원하고, 적 화력자산에 대한 대화력전을 수행한다. 여단 화력운영반을 운용하여 편제 및 증원포병부대를 지휘통제하며, 다기능레이더를 운용하여 적 화력지원부대, 항공, 드론 등을 탐지하여 타격부대의 표적으로 제공한다.

포병단은 단 본부와 본부중대, 통신중대, 표적획득중대, 155밀리 자주포대대, 혼성포병대대로 구성된다. 표적획득포대는 곡사화기탄, 로켓, 드론을 탐지하는 다기능레이더를 운용하여 적 포병부대의 위치와 적 드론에 대한 정보를 획득하여 여단에 전파한다. 포대는 본부와 다기능레이더로 편성된 표적획득소대와 경계소대로 편성된다.

자주포병대대는 본부와 본부포대, 자주포포대, 경계소대로 구성된다. 자주포포대는 사격지휘소와 자주포로 구성된 소대와 탄약반, 정비반, 통신반, 대드론반으로 구성된 지원소대로 구성된다. 혼성포병대대는 다련장 포대로 구성된 다련장사격대와 공격드론 포대로 구성된다.

전투지원대대는 작전지역내 적, 지형, 민간요소에 대한 정보를 제공하고, 아군의 기동을 보장하며, 적의 기동을 저지 또는 변경을 강요하는 역할을 수행한다. 여단 전체에 대하여 작전환경에 대한 정보를 지원하고, 여단 본부에 대한 지휘·통제·통신과 사이버 보안을 지원한다. 적 항공기, 드론, 포병, 로켓 위협을 방호하고, 여단 책임지역에 대한 화생방 정찰 및 제한적인 제독을 지원하고, 여단 지휘소 방호를 책임진다.

전투지원대대는 본부와 본부중대, 공병대, 정보중대, 통신중대, 화생방소대로 편성한다. 본부중대는 중대본부, 경계소대, 의무반으로 구성된다. 공병대는 본부, 일반장비 소대와 공병중대로 편성된다.

공병중대는 중대본부와 위험성폭발물개척팀(EHCT)을 포함한 공병정찰반, 다기능기동지원소대와 대기동소대로 구성된다. 공병정찰반은 공병정찰장갑차로 편성된다. 정보중대는 중대본부와 운용소대, 지상감시소대, 공중정찰소대, 전자전반, 정비반, 대드론반으로 구성된다. 지상감시소대는 차량에 지상감시레이더, 저주파레이더, 열영상감시장비 등을 장착하여 첩보를 수집하고, 공중정찰소대는 여단급 정찰용 무인항공기를 이용하여 영상정보를 획득한다.

전투근무지원대대는 여단의 작전수행을 지원하기 위하여 추진 및 보급분배소 역할과 탄약전환보급소, 야간정비지원, 소생적 수준의 의무지원, 그리고 전투부대에 대한 다기능 근접지원 역할을 수행한다. 전투근무지원대대는 본부, 본부중대, 보급수송중대, 일반정비중대, 궤도정비중대, 의무중대, 그리고 전방지원중대로 구성된다. 전방지원중대는 보급소대와 정비소대, 통신반으로 편성되며, 중대단위로 전투대대, 포병대대, 전투지원대대에 추진보급과 긴급구난, 응급정비를 근접지원하는 역할을 수행한다.

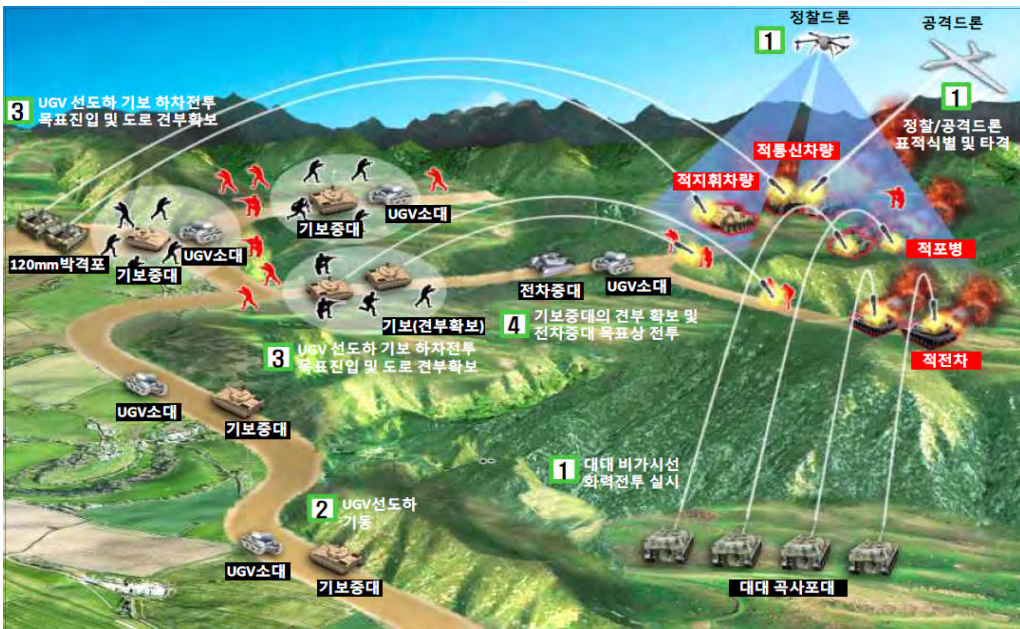
2.3 Army Tiger 4.0 체계 작전 수행

아미타이거 4.0 체계에서 여단의 목표와 임무는 아래와 같다.

1. 제대별 중심 화력전투로 적 주 전투력 격멸, 공격체계 균형 와해
 - 1) 상·하 제대간 모든 감시자산을 다중·복합·입체적으로 운용하여 전장 가시화.
 - 2) 공격체계 균형을 와해시킬 수 있는 제대별 주요 핵심표적 선정 및 타격.
 - 3) 모든 감시센서와 전투플랫폼간 초연결 네트워크체계 유지, 초연결·초지능·초융합 타격체계로 실시간 감시-타격-피해평가-재타격 시행
2. 적의 공격기세 조기 약화, 작전한계점 도달 강요
 - 1) 지형과 무인체계 이점을 활용, 유무인 복합 전투력 배비
 - 2) 제한된 사이버·전자전으로 작전수행 여건 보장
 - 3) 유무인 복합 근접전투 시 최대한 적의 직사화기 사거리를 감소시키고, 아군의 사거리를 확보하여 최소피해 최대효과 달성
 - 4) 다양한 기동장애품 활용, 적 부대의 기동을 방해하고, 밀집을 강요하여, 적시에 화력을 집중, 격멸
 - 5) 화력과 기동전투로 적의 결정적 약점을 창출, 기동화된 예비대를 공세적으로 운용하여 적의 공격기세 조기 약화, 작전한계점 도달 강요
3. 중심 깊은 기동으로 적의 중심을 마비
 - 1) 제대별 감시체계와 연계된 화력전투로 주요 핵심표적 선정 및 타격

- 2) 화력전투와 동시 또는 이전에 CEMA팀을 침투시켜 사이버·전자전으로 지휘 및 무기체계를 무능화(마비)
 - 3) 화력전투에 추가하여 사이버·전자전으로 창출된 적의 약점에 대해 기습, 기동 및 화력의 집중을 통해 적의 대응능력 박탈
 - 4) 공병을 공세적으로 운용하여 지뢰지대 등 실시간 기동저해요소 식별 및 극복
 - 5) 적의 중심으로 중심 깊게 고속기동하여 중심을 마비시키고 후방을 교란
4. 작전지역 내 잔적 격멸
- 1) 소규모 단위 분진합격으로 포위 및 고립, 분리된 적 격멸(Swarming)
 - 2) 점령한 작전지역으로의 적 증원 및 공세행동 차단을 위해 무인전투체계 위주 감시정찰 수행

여단의 임무달성을 위하여 대대는 다양한 무인전투체계 및 타격체제로 강화되어 통합전투력을 발휘하는 전술 기본 단위부대로써 여단 일부로 근접전투를 수행하며, 필요시 여단으로부터 추가 전투력 지원받으며 제한된 범위 내 제병협동작전을 수행하고, 여단작전의 주축인 근접 전투부대로써 여단 작전의 기동로 확보, 후속부대 투입여건 조성, 주요 기동방어 및 점령 임무를 수행하며 아래의 방법으로 전투를 수행한다.



〈그림 8〉 대대 전투 수행방법

* 출처 : 육군본부, 아마타이거 2021년 보고

- 1) 정찰감시 자산(드론)의 적 표적 획득 및 비가시선 공격.
 - 공격드론 공습, 비가시선 화력 전투
- 2) 목표지역으로 기동.
 - UGV 선도 기동, 기보~전차중대 순
- 3) 목표지역 전투시 120mm자주 박격포 화력전투 및 UGV 소대 목표지역 진입.
- 4) 기보중대 UGV소대 후속 기동 및 도로 건부 확보, 전차중대 목표지역 내 기동 및 중심적 격멸.

대대의 임무수행을 지원하는 보병중대의 임무는 대대 일부로 근접전투를 수행하고 대대의 작전에 기여하는 역할을 수행하기 위하여 감시 및 타격수단을 운용하여 책임지역 내 적 격멸하고, 필요시 중요지역 확보의 임무를 수행하며 아래의 방법으로 전투를 수행한다.



〈그림 9〉 중대 전투 수행방법

* 출처 : 육군본부, 아미타이거 2021년 보고

- 1) 대대 정찰감시 자산(드론)의 적 정보 획득 및 비가시선 공격
 - 공격드론 공습, 비가시선 화력 전투
- 2) UGV 소대 후속하여 확보된 기동로를 따라 목표지역 기동

- 3) UGV소대 진입 시 120mm 자주 박격포 화력전투/병력 하차 및 결정적 작전 준비
- 4) UGV소대 기동로 확보 후, 기보중대 적 공격 실시/후속, 전차중대의 공격여건 보장을 위한 도로 전부 확보.

여단의 임무달성을 위한 전차중대의 임무는 대대의 일부로 근접전투를 수행하고 대대의 결정적 작전에 기여하는 역할 수행하며, 책임지역 내 적을 격퇴 또는 격멸하고, 필요시 중요 지역 확보의 임무를 수행하며 아래의 방법으로 전투를 수행한다.

- 1) 대대 정찰감시 자산(드론)의 적 정보 및 표적 획득/비가시선 공격
 - 공격드론 공습 실시
- 2) UGV소대 선도하 목표지역으로 기동(기보중대 후속)
- 3) UGV소대 및 기보중대에 의한 기동로 및 전부 확보
- 4) UGV소대의 중심지역까지의 기동로 확보 및 공격 개시
- 5) 결정적 작전 수행, 목표지역 적 격멸 및 목표 달성



〈그림 10〉 전차중대 전투 수행방법

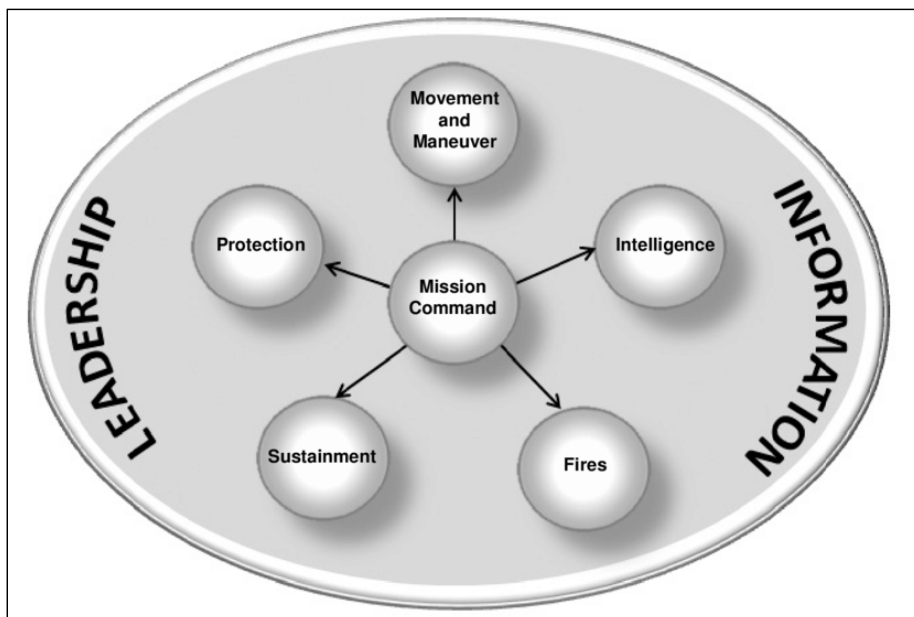
* 출처 : 육군본부, 아마타이거 2021년 보고

통신망, 전투무선망 등 통합된 네트워크 관리 및 유지의 임무를, 정비소대는 평시 장비관리 및 전시 구난 및 응급 정비의 임무를 수행하며 대대를 전체적으로 지원을 위한 취사반, 탄약반, 유류보급반을 편성 운용하는 임무를 수행한다.

2.4 체계별 요구능력

2.4.1 전장기능

전장기능(Function of Battlefield) 또는 전투수행기능 (Warfighting Function, WFF) 은 전장에서 전력 발휘효과를 극대화시키기 위한 중요한 군사적 역할과 활동을 의미하며, 이는 전장에서 통합된 제반 전장요소에 대한 통제를 용이하게 하고 전력소요 도출의 기초를 제공한다. 이는 작전/전투를 수행할 때 부대의 규모와 특성에 관계없이 수행해야 할 군사적 역할과 기능 및 체계를 분류한 것으로 그중 가장 기본적인 6가지 기능은 지휘·통제, 정보, 기동, 화력, 방호, 그리고 작전지속지원 기능이다.



〈그림 12〉 핵심 전장기능

* 출처 : <https://www.researchgate.net/figure/Mission-command-as-a-warfighting-function>

1) 지휘·통제

지휘통제(Command and Control: C²)란 임무 달성을 위해 자원을 효과적으로 이용, 군사력을 행사하는 기능인 지휘(Command)와 지휘에 있어서 계획 실행에 필요한 물자, 시간, 장소를 평가 배분하고 작전 행동을 감시함으로써 지휘관의 기도를 달성하기 위해 부하의 행동을 합리적 효율적 측면에서 감독하는 통제(Control)를 함께 통칭하는 의미이다. 지휘관이 부여된 임무를 완수하기 위하여 부대의 작전을 계획, 지시, 통제하는 것을 말한다. 즉, 지휘관과 참모가 군사적 단일체로서 예하부대를 지휘하고 통제하는 것으로, 모든 작전 요소를 통합하고 작전수행을 주도하는 군사적 역할과 활동, 체계를 의미한다.

Army Tiger 여단은 확대된 참모편성, AI 기반 정장관리체계, 기동화된 지휘소, 위성 기반 다계층 통합 네트워크 등의 발전된 지휘통제 수단과 방법을 운용한다. 이를 통하여 복잡해진 다영역 전장환경에서 실시간 전장가시화, 신속한 결심, 통합된 대응으로 작전의 주도권을 유지하고 승리를 달성한다. 지휘통제 기능의 작전수행 방안은 임무형 지휘, 지휘소 운용, 전장관리체계, 지휘통신 체계로 구분한다.

임무형 지휘는 예하부대 지휘관이 보다 주도적이고 창의적으로 임무를 수행할 수 있도록 예하부대에 과업은 부여하되 수행하는 방법은 위임을 한다. 임무형 지휘를 위해 지휘관 및 참모의 전문성을 확보하고, 지휘통제 조직을 효율적으로 편성하며, 타 전투수행 기능을 통합할 수 있도록 하고, 상황발생시 작전수행과정을 적절하게 적용할 수 있도록 지원해야 한다.

지휘소는 상급부대와 명령·지시·보고를 주고 받고, 인접·지원부대와 정보를 공유하고 협조하며, 예하부대를 지휘·통제하는 시설이다. 미래환경을 위해서는 지휘소의 시설과 장비가 경량화되고 기동성과 생존성이 확보되어야 한다. 이를 위해 Army Tiger 여단 지휘소는 차량으로 모듈화된 이동형 차량으로 구성하며, 지휘소 통신운용을 위해 지상의 대용량 전송망, 지상 및 공중의 이동통신과 전투무선망, 우주의 위성 OTM 장비를 1대의 차량에 장착하여 운용한다. 지휘소의 생존성 보장을 위해 적의 공중공격, 포병/박격포, 특수전 부대, 화생방·전자전 등의 공격으로부터 보호되고 적의 사이버공격으로부터 차단되어야 한다.

전장관리체계는 지휘관 및 참모에게 작전수행 전 과정에 대한 전장을 가시화하고 예하부대를 지시 및 감독하기 위해 지속적으로 전장정보를 제공한다. Army Tiger 4.0체계는 통합 네트워크 환경에서 전투수행기능별 모든 데이터가 표준화되고 상호운용성이 보장되어 하나의 체계처럼 모든 전장정보의 공유가 가능하다. 또한 AI 기반의 지능형 전장관리체계의 지원으로 지휘관 및 참모는 임무수행과정에서 AI의 도움을 받아 적 전투서열, 핵심표적에 대한 타격수단, 최선의 방책, 전장순환통제 방법 등 다양한 전장관리지식을 제공받아 정확한 예측 및 결심을 용이하게 하여, 결국 지휘결심 주기를 단축할 수 있어야 한다.

지휘통신체계는 AI+ICBM의 첨단 기술기반으로 모든 전투플랫폼을 연결하고, 데이터 수집, 분석 및 처리가 고도화되는 기반환경이 제공된다. 지상, 공중 및 우주의 다계층 네트워크가 통합되고, 이동간 지휘·통제가 가능하며, 전투용 통합 단말기와 네트워크를 통해 모든 전투원은 각종 전투플랫폼과 연결되고 운용되어야 한다.

2) 정보

정보(Intelligence, Information)란 임무수행에 필요한 제반 첩보 및 정보를 제공하고 상대적인 정보우위를 달성하여 전투력의 효율적인 운영을 보장하는 군사적 역할과 활동, 체계를 의미한다. 임무수행 수행을 위해 요구되는 적, 잠재적 적, 외국과 아군 및 우군, 지형과 기상, 민간요소 등에 대한 사실이나 자료를 포함하는 모든 첩보자료를 수집, 처리, 융합, 분석 및 평가하여 획득된 지식, 또는 이 같은 결과물을 생산하는 활동 제반 활동을 의미하며, 정보기능, 우선정보요구, 정보관리 등이 해당된다.

우선정보요구(Priority Intelligence Requirements, PIR)는 지휘관이 부여된 임무수행을 상황이해, 지휘관 판단, 작전구상, 결심 등을 위해 가장 시급하고 우선적으로 요구되는 정보로서 계획수립과 결심수립에 지배적인 요소가 되는 적 능력 및 전장환경과 관련되는 정보사항을 의미한다. 통상적으로 우선정보요구는 단순히 수집할 정보에 국한하지 않고 여러 정보를 종합하여 판단과 분석을 통해 생산된 정보를 의미하는 경우가 많다.

정보관리(Information Management)는 의사결정을 위하여 필요한 각종 정보의 수집·처리·전달·저장을 합리적으로 하기 위한 체계적인 활동을 의미하며, 정보가 의사결정에 도움이 되기 위해서는 정확성·신속성·적시성(適時性)·대량성 등의 조건이 충족되어야 한다. 그러기 위해서는 우선 수집의 시스템이 완비되어야 함은 물론, 그것이 처리·전달·저장의 각 시스템과 유기적으로 결합되어 있어야 한다. 즉 여러 가지 단편적인 첩보와 정보 등을 작전수행에 도움이 될 수 있도록 통합, 가공 또는 융합해서 정리/관리하는 제반 활동을 의미한다.

Army Tiger 4.0의 정보기능은 전장의 불확실성을 최소화하고 임무수행에 필요한 제반 첩보 및 정보를 제공하여 상대적인 정보우위를 달성하여 전투력의 효율적인 운용을 보장해야 한다.

전장감시계획 수립은 전장인식의 출발점으로 작전수행의 주체는 지휘관이며, 작전수행과정에서 지휘관중요정보요구(CCIR)는 전장감시활동의 기초가 된다. 따라서 전장감시 계획수립시 지휘관의 우선정보요구(PIR)에 기반을 두고 적 부대, 적 복합전투체계 등 핵심표적을 식별하는데 중점을 두고 전장감시계획을 수립해야 한다.

첩보수집(전장감시)은 모든 탐지/획득수단을 이용하여 적 인원과 장비를 조직적으로 관찰하는 활동이다. Army Tiger 여단은 전장감시 계획을 토대로 제대별 다양한 감시자산을 운

용하여 전장을 감시하고 첩보를 수집해야 한다.

첩보의 처리(분석·생산)는 수집한 첩보를 지휘관 및 참모 또는 사용자들이 쉽게 사용할 수 있는 형태로 전환하는 과정이다. 이는 수집된 첩보를 기록, 평가, 해석하여 각종 정보 산물로 생산하는 활동이다. Army Tiger 4.0의 AI 기반 정보융합체계는 첩보의 처리·분석·생산 과정을 동시에 자동으로 수행함으로써 정보순환과정을 단축시키고, 적시적인 정보요구를 충족시킴으로써 전장인식 기반 신속결정작전을 수행할 수 있도록 보장해야 한다.

정보의 전파는 정보유통체계를 통하여 생산된 정보를 사용자에게 전파하여 생산자와 사용자가 동일한 정보를 활용하도록 하는 과정으로, Army Tiger 4.0에서는 정보 전파시간을 단축하기 위해 다계층 통합네트워크를 통해 예하부대와 모든 전투원들에게 실시간 정보공유를 제공해야 한다.

3) 기동

기동(Movement, Maneuver)은 전쟁이나 전투 수행에서 적과 위협에 대하여 적보다 유리한 위치를 차지하기 위하여 부대를 이동시키고 운용하는 군사적 역할과 활동, 체계를 의미한다. 기동기능의 주요활동에는 전개, 대기동 등이 있다.

전개(Deployment)는 기동의 한 형태로서 전투력을 이동시키고 배치하여 적의 전투행위를 억제하거나 억제 실패 시 신속히 작전에 투입할 수 있도록 전투를 준비하는 활동을 의미한다. 부여된 임무수행을 위해 포병 진지를 정찰, 선정, 이동, 점령하는 일련의 과정으로 전개 방법은 가용시간과 상황에 따라 정상전개와 긴급전개로 구분된다.

Army Tiger 여단은 다양한 유·무인 전투체계를 전장상황에 적합토록 전개하고 전술기동시켜 적 보다 상대적으로 유리한 위치를 확보하고, 이를 통해 작전의 주도권을 확보해야 한다. 여단은 적의 중심을 조기에 마비시키기 위해, 비선형 분산 기동과 적을 압도하는 템포를 통해 적의 중심에 전투력 운용의 효과를 집중하는 결정적작전을 수행해야 한다. 여단은 AI 기반의 전장정보분석을 통해 적의 약점을 식별한 후, 비선형 분산 기동으로 노출을 최소화하면서 적에게 접근한다. 여단은 또한 유·무인 복합체계를 적의 중심으로 접근시켜 결정적인 시간과 장소에서 시너지 효과가 발휘될 수 있도록 전투력을 운용하며, 결정적인 작전에 기여할 수 있도록 예비대를 운용하고, 무인전투체계의 공세적인 운용으로 기반과 기습을 달성할 수 있어야 한다.

대기동(Counter Mobility)은 기동의 한 형태로 장애물 운용과 거부작전을 통해 적의 기동을 방해하거나 차단하는 활동으로 움직이는 적을 교란, 파괴, 통제하는 것을 목적으로 한다. 따라서 Army Tiger 여단은 지상공간뿐만 아니라 공중공간에서도 지능형 장애물체계를 운용하여 아군에게 접근하는 적의 기동을 차단하고, 비선형 분산 기동을 통해 적의 중심으

로 접근하는 아군의 기동을 촉진시킨다. 이를 위해 지능형 지상 장애물체계 또는 이동식 드론 장애물군 등 공중 장애물체계를 운용해야 한다.

4) 화력

화력(Fires)은 부대의 임무를 달성하기 위하여 가용자산을 통합한 화력 운용으로 적을 타격하는 군사적 역할과 활동, 체계를 의미한다. 살상 및 비살상 무기체계에 의해 적에게 투사되는 사격량이나 타격 능력을 나타내며, 살상무기에는 전술공군, 공격헬기, 미사일, 화포, 로켓, 함포, 그리고 제대별 편제화기 등이 포함되며, 비살상무기체계에는 전자공격, 사이버 공격, 연막, 무능화작용제 등이 해당된다.

Army Tiger 여단은 타격계획 수립시 지휘관의 작전개념을 구현할 수 있도록 핵심표적과 요망효과, 감시 및 타격지역, 감시수단, 타격방법 및 수단 등을 사전에 예측하여 결정한다. 여단은 작전준비 및 실시 간 AI 기반 화력운용 지휘통제체계와 정찰·감시·타격 통합 네트워크에 의해 표적탐지, 결심 및 타격, 평가(BDA)가 실시간 이루어지게 하며, 계획된 각종 화력 및 공역 협조수단과 화력자산들의 지원관계 설정 등은 작전 실시간 상황변화를 고려하여 적시적절하게 조정하여 적용해야 한다. 화력은 지휘관의 작전개념을 고려하여 가용자산을 시·공간적으로 통합하여 대화력전, 통합화력 운용 등 주요 유형별로 특성에 맞게 맞춤형으로 운용해야 한다. 여단은 자체적인 화력수단의 활용과 함께 상급부대로부터 지원되는 다양한 공중전력을 효율적으로 통합하여 활용해야 한다.

5) 방호

방호(Protection)는 전장의 각종 위협과 위협으로부터 작전지역 내에 위치한 보호해야 할 군사 및 비군사 인원, 장비, 물자, 시설, 정보체계에 대한 효과성과 생존성 등 제반 기능 발휘를 보장하기 위한 모든 군사적 활동과 체계를 의미한다. Army Tiger 여단은 방호기능을 수행하는데 드론에 의한 공중위협, 전자전 위협, 사이버 위협 등 다영역 위협을 고려해야 한다.

Army Tiger 여단은 적의 다양한 위협을 조기에 식별하고 회피하거나 적절히 소산하여 피해를 방지함과 동시에 기동화, 네트워크화, 지능화된 다양한 수단과 방법을 운용하여 적극적이고 능동적인 방호를 실시해야 한다. 이를 위해 다영역 위협에 대한 조기경보체계를 구축하고, 적 위협 식별시 피해를 방지할 수 있도록 신속한 방호태세로 전환하고, 적극적인 방호능력을 운용하여 위협자체를 제거하며, 지능화된 피아식별장치로 우군 피해를 방지하여야 한다. 여단의 방공작전은 현재와 같이 전구차원의 방공작전과 연계하여 시행하되, 드론, 포병, 미사일 등 다양한 위협요소에 폭넓게 대응할 수 있는 다목적 저고도 방공무기를

운용하여 여단의 핵심요소를 방호하는데 중점을 두어야 한다.

여단은 핵 및 화생방 방호를 위해 광역감시체계와 조기경보체계를 운용한다. 광역감시를 위해 여단에 편성된 화생방정찰차 뿐만 아니라 정찰차에 탑재된 드론봇과 탐지센서를 운용하여 원거리에서부터 오염여부를 감시해야 한다. 여단은 적의 전자전 공격으로부터 아군의 정보 및 정보체계를 방호하는 소극적인 방안은 물론 적 위협요소를 직접 타격하는 적극적인 방안을 강구해야 한다. 여단은 또한 지능화된 사이버 방호체계를 운용하여 사이버 위협에 대한 예측·탐지·대응 등 일체의 사이버 방호 활동을 통합관리 해야 한다. 우군 간 피해방지를 위해 여단의 모든 전투원, 장비는 피아식별장치를 부착하여 임무를 수행하여야 한다.

6) 작전지속지원

작전지속지원(Operation Sustainment)은 제반 자원을 관리 및 지원하고 근무를 제공하여 전투력을 조성하고 유지함으로써 작전지속능력을 보장하는 군사적 역할과 활동, 체계를 의미한다. 작전지속지원 기능의 주요활동에는 군수, 인사, 동원지원, 전투력복원, 전장순환통제 등이 있다.

군수(Logistics)는 연구개발, 소요, 조달, 보급, 정비, 수송, 시설, 근무 등의 기능을 수행하여 군사 조직의 임무수행에 필요한 장비, 물자, 시설, 예산, 용역 등의 자원을 지원하는 제반 활동을 의미한다. 인사(Personnel)는 인력자원을 채용하고 관리하는 제반활동으로 부대병력 유지, 인사관리 및 처리, 부대행사 및 포상업무, 기록 정보 관리 등의 업무 활동을 의미한다. 동원(Mobilization)은 전시, 사변 또는 이에 준하는 국가비상사태 시 국가 안전보장에 기여할 수 있도록 인원, 물자, 기타 제반 자원을 효율적으로 통제, 관리 운용하는 활동 및 체계를 의미한다.

전투력복원(Force Restoration)은 부대가 전투력 손실로 임무수행이 제한되거나 불가능할 때 피해부대의 전투력을 임무수행이 가능한 상태로 회복시키기 위해 실시하는 특단의 조치로 전투력복원 방법에는 재편성과 재조직이 있다. 이때 특단의 조치란 정상적인 지원활동으로 요구되는 기간 내에 부족 소요를 충족시키지 못할 경우, 이에 추가하여 부대 내의 자원을 조정 또는 통합하거나 상급부대가 외부자원을 투입하여 부대의 전투력을 회복하고 전투효율성을 향상시키는 조치를 의미한다.

전장순환통제(Battlefield Circulation Control)는 작전지역 내 기동로와 보급로를 관리하고 이동을 통제하여 부대전개와 작전지속지원 활동이 원활하게 이루어지도록 하는 활동, 체계를 의미한다.

Army Tiger 여단은 적시·적소에 맞춤형 작전지속지원을 위해 제대별 정확한 소요를 예측하여 적량의 지원요소를 확보하고, 전투부대에 필요한 지원을 적시에 지원하며, 전투부대

의 작전지속지원 지속성을 유지하고, 전투현장에서 발생하는 전상자에 대한 현장 응급처치와 후송이 가능해야 한다. 여단은 작전지속일수, 자산 확보기간 등을 고려해 분야별 일정수준의 지원능력을 보유, 필요시 전투부대 현장까지 적시지원이 가능한 작전지속지원 기반체계를 구축해야 한다. 여단 작전지속지원반은 AI 기반의 작전지속지원 정보체계를 활용하여 향후 예상되는 부대별·작전일자별 예상 손실률과 피해율, 부대별 지원 우선순위, 현 보유수준, 추가 청구소요 등을 분석하여 작전지속지원 계획을 수립하고 준비한다. 또한, 이런 모든 활동이 실시간에 지원될 수 있도록 하여야 한다.

2.4.2 장비 및 기능별 세부 요구능력

부여된 목표를 달성하기 위하여 주요 편제 장비의 수행 임무 및 기능별 최소 요구능력을 핵심 전장기능별 순으로 종합하여 기술한다.

■ 지휘장갑차

지휘관(자)이 작전을 지휘·통제하는 지휘소(Command Post)의 역할을 수행하며, 지휘소의 연장으로 현행작전 중 주요국면을 전투현장에서 지휘·통제하기 위해 주요 전투지역까지 추진하여 운영되는 전술지휘소(Tactical Command Post)의 역할을 수행한다. 이를 위하여 상급부대로부터 명령·지시·보고를 주고받고, 인접·지원부대와 정보를 공유하고, 예하부대를 지휘·통제하여 부여된 작전 임무를 수행한다. 여단 및 대대급 부대에 편성된다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 주·전술지휘소 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 상급, 인접, 하급부대 간 통신 제공 • 대용량전송망, 이동통신망, 전투무선망, 위성 연결 • ATICS(전장가시화) 체계 운용
	정보	<ul style="list-style-type: none"> • 사단 지휘소 작전명령 수신 • 중심지역 정찰반 수집정보 수신 • 인접 및 예하부대 수집정보 수신 • 예하부대 수행임무 하달 • 수집된 전장정보 상급부대 지휘소 보고
	기동	<ul style="list-style-type: none"> • 00마력, 도로 00km/h, 물 0km/h • 탑승 인원 ±0명
	화력	<ul style="list-style-type: none"> • 00mm 수류탄 발사대 • 00mm 기관총
	방호	<ul style="list-style-type: none"> • 정면 00mm, 측면 00mm • NBC, EO/IR 방호
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 운영범위 000-000km


■ 통신중계드론 통제차량(장갑)

작전지역내 난청지역 해소 및 통달거리 연장을 위해 공중 통신망(중계망) 제공을 위해 제대별 통신중계 드론 운용을 위한 통제용 장갑 차량이다. 대대 및 중대에서 운용할 통신중계 드론에는 전투무선망과 이동통신망 소형 중계기를 탑재하고, 여단에서 운용할 통신중계 드론에는 전투무선망과 이동통신망 기지국을 탑재하여 운용한다. 대대/중대 본부중대(1set)에 편성되어 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 통신중계 	지휘통제	• 전투무선망, 이동통신망 연결
	기동	• 수직 이·착륙 • 작전반경 00km • 운용고도 00km
	방호	• 피탈시 자체 임무 정지(자폭) • 스텔스, 항재밍, 양자암호 통신
	지속지원	• 작전시간 00 시간 이상

■ 여단 정찰드론


여단 전투지원대대 정보중대에 편성하여 여단 책임지역 중심에 위치한 적 지휘소, 화력지원수단, 예비대에 대한 영상정보를 획득하여 적 기도를 파악하기 위해 운용된다. 1세트 6기로 편성하여 0대를 동시에 운용하고, 비행체의 이·착륙을 자동으로 통제하는 통제장비와 비행·영상 수집을 통제하는 중계장비로 구성한다. 포병반 AI 사격지휘체계와 연동하여 화력유도 및 전투피해평가를 위한 실시간 영상정보 제공을 위해 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 중심지역 첩보수집 	지휘통제	• 지휘소/공중 중계드론/정찰반 연결 • 포병대대 AI 사격지휘체계 연결
	정보	• 임무지역 수색·정찰 정보수집 • 여단 중심지역 첩보 수집 • 기타 정보수집 자산 수집정보 획득
	기동	• 수직 이·착륙 • 작전반경 00km • 운용고도 00km 이상
	방호	• 피탈시 자체 임무 정지(자폭) • 스텔스, 항재밍, 양자암호 통신

부여임무	기능별 요구능력	
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 18X 광학·줌 고화질 UDH 카메라 • EO/IR 장비 • 소형 SAR 탑재 • 작전시간 00 시간 이상


■ 대대 정찰드론

대대 전투지원중대에 정찰반에 편성하여 대대 책임지역 중심에 위치한 적 지휘소, 포병군, 전차, 병력에 대한 영상정보를 획득하기 위해 운용된다. 주요표적에 대한 영상정보를 대대 예하부대와 공유하고 특히 155밀리 자주곡사포와 연동하여 실시간 화력유도 및 전투피해 평가를 위해 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 작전지역 표적정보 수집 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 지휘소/공중 중계드론/정찰반 연결 • 000밀리 자주곡사포 연결
	정보	<ul style="list-style-type: none"> • 임무지역 수색·정찰 정보수집 • 대대 작전지역 첩보 수집 • 기타 정보수집 자산 수집정보 획득
	기동	<ul style="list-style-type: none"> • 수직 이·착륙 • 작전반경 00km • 운용고도 00km 이상
	방호	<ul style="list-style-type: none"> • 피탈시 자체 임무 정지(자폭) • 스텔스, 항재밍, 양자암호 통신
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 광학·줌 고화질 UDH 카메라 • EO/IR 장비 • 작전시간 00 시간 이상


■ 중대 정찰드론

중대 드론봇 분대와 수색정찰중대 팀, 드론봇 포대 경계소대에 편성하여 근접전투 수행간 중대장의 신속한 전장상황 파악과 편제 및 지원화기 운용, 다양한 전투지휘 여건 보장을 위해 운용된다. 책임지역 내에서 근접한 적에 대한 첩보를 실시간 획득하고, 감시사각지역의 적 위협에 대한 정보를 수집한다. 또한 120밀리 자주박격포와 연동하여 주요 표적정보를 제공 및 실시간 화력유도 및 전투피해 평가를 위해 운용한다.

부여임무		기능별 요구능력	
- 작전지역 - 감시정찰 및 표적정보 수집 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 지휘소/정찰반 연결 • 000밀리 자주곡사포 연결 	
	정보	<ul style="list-style-type: none"> • 임무지역 수색·정찰 정보수집 • 중대 작전지역 첩보 수집 • 기타 정보수집 자산 수집정보 획득 	
	기동	<ul style="list-style-type: none"> • 수직 이·착륙 • 작전반경 00km • 운용고도 00km 이상 	
	방호	<ul style="list-style-type: none"> • 피탈시 자체 임무 정지(자폭) • 스텔스, 항재밍, 양자암호 통신 	
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 광학·줌 고화질 UDH 카메라 • EO/IR 장비 • 작전시간 00 시간 이상 	


■ 팀 정찰드론

보병중대 및 수색정찰중대 예하 팀에 편성하여 산악지형 및 도시지역 등 지형적 특성상 가시선 확보가 제한되는 지역에서 운용된다. 특히 노출되기 쉬운 적지중심지역에서 적에게 은밀하게 접근하여 첩보를 수집 및 화력 유도 임무를 수행하기 위해 운용한다. 또한 박격포와 연동하여 주요 표적정보를 제공 및 실시간 화력유도 및 전투피해 평가를 위해 운용한다.

부여임무		기능별 요구능력	
- 감시정찰 및 표적정보 수집 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 지휘소 연결 • 00밀리 박격포 연결 	
	정보	<ul style="list-style-type: none"> • 임무지역 수색·정찰 정보수집 • 기타 정보수집 자산 수집정보 획득 	
	기동	<ul style="list-style-type: none"> • 수직 이·착륙 • 작전반경 00km • 운용고도 00km 이상 	
	방호	<ul style="list-style-type: none"> • 피탈시 자체 임무 정지(자폭) 	
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 광학·줌 고화질 UDH 카메라 • 작전시간 00 시간 이상 	

■ 소형 정찰로봇

정보중대 지상정찰반, 보병 팀, 드론봇 중대 및 소대, 수색정찰중대에 편성하여 전투원이 휴대 및 원격으로 운용한다. 적 은거 및 IED 등 장애물 설치 예상지역, 적정이 불명확한 지역에 대한 기동 시 적의 위협을 조기 식별하기 위해 우선적으로 투입하여 전투원의 생존성을 보장한다. 또한 도시지역 작전 시 전투원을 선도하여 도로정찰을 하거나 후방지휘소·통신시설 등 중요시설 경계작전 간 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 정찰, 표적탐지, 사격 	지휘통제	• 원격조정
	정보	• 임무지역 수색·정찰 정보수집 • 기타 정보수집 자산 수집정보 획득
	기동	• 자율주행 및 원격구동 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 화기 탈·부착 가능


■ 전차

전차는 상·하·인접 전투체계와 연결된 상태로 차체 내에서 피·아식별 및 전장상황을 인식하고 식별된 적의 약점을 통해 압도적인 충격력과 기동력을 발휘하여 중심 기동한다. 중심기동은 적의 대응을 야기하여 아군이 요망하는 시간과 장소에서 적의 노출을 강요한다. 적 지역에서 전차 기동은 적을 물리적 심리적으로 파괴하는 주요 요인으로 작용한다. 네트워크 연결하 고수준의 감시·기동·타격·방호 능력을 갖추고 가용 전투력을 통합하여 운용할 수 있도록 미래전에 부합한 체계(K-2 전차)로 성능개량(지능화·네트워크화, 감시·타격·방호력 강화)하여 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 전투 임무수행 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화
	기동	• 반자율주행 및 원격구동 가능 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 주포 이용 비가시선 타격 • 원격사격(기관총)통제체계 탑재
	방호	• Trophy급 능동방호, 대전차지뢰 방호 • 화생방 방호, EMP 방호, 스텔스
	지속지원	• 탑승인원 ±000명


■ 소형 전술차량

소형 전술차량은 전투지휘, 전투지원을 위한 인원·물자·장비의 이동 및 수송을 위해 운용한다. 이동간 AI를 활용하여 최적 이동경로를 확인하고 네트워크를 통해 전장상황을 공유한다. 원격조종 및 반자율기동이 가능한 무인화 운용 능력 보유한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 전투지휘, 전투지원(통신·정비) 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화
	기동	• 반자율주행 및 원격구동 가능 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(기관총, 감시장비)통제체계 탑재
	방호	• 소화기, 대전차지뢰 방호
	지속지원	• 탑승인원 ±000명

■ 중형 전술차량

중형 전술차량은 전투지원 및 작전지원지속을 위한 인원·물자·장비의 이동 및 수송을 위해 운용한다. 이동간 AI를 활용하여 최적 이동경로를 확인하고 네트워크를 통해 전장상황을 공유한다. 원격조종 및 반자율기동이 가능한 무인화 운용 능력 보유한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 전투지원 및 작전지속지원 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화
	기동	• 선도차량 후속 무인자율기동 능력 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(기관총, 감시장비)통제체계 탑재
	방호	• 소화기 방호
	지속지원	• 탑승인원 ±000명

■ 차세대 전투차량


전투원간 네트워크 연결 기반을 제공하고, 전투원은 전투차량 내부에서 입체화된 전장가시화체계를 연결하여 전장상황을 공유한다. 화생방 오염지역, 연약기반 및 하천 등을 자체

능력으로 극복하고 기동하며, 원격사격통제체계에 탑재된 감시·타격체계를 활용하여 탑승 전투를 수행할 수 있도록 미래전에 부합하도록 성능개량하여 운용한다. 이동간 AI를 활용하여 최적 이동경로를 확인하고 네트워크를 통해 전장상황을 공유한다. 원격조종 및 반자율기동이 가능한 무인화 운용 능력 보유한다. 고강도 작전 외 안정화 및 소탕작전 수행간에도 강력한 방호력과 기동·타격력을 발휘하여 작전지역 전방위 정찰 및 소탕, 경계작전 수행의 주요 전력으로 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 전투임무 수행 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화 • 주·야간 360도 상황인식, 화생방 탐지, 드론탐재
	기동	• 도하능력 • 원격조종운용 가능, 반자율기동 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(레이저포, 기관총)통제체계 • 대전차 유도무기
	방호	• Trophy급 능동방호, 대전차지뢰 방호 • 화생방 방호, EMP 방호, 스텔스
	지속지원	• 탑승인원 ±000명 • 공중기동(헬기탑재) 가능


■ 고기동 경전술차량

지상정찰부대와 저격부대에서 운용할 수 있도록 산악지역 등 제한된 도로에서 우수한 고기동성을 발휘할 수 있도록 전술차량을 개량한다. 이동간 AI를 활용하여 최적 이동경로를 확인하고 네트워크를 통해 전장상황을 공유한다. 원격조종 및 반자율기동이 가능한 무인화 운용 능력 보유한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 정찰, 저격 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화
	기동	• 산악협로, 모래지반 등 야지 기동 가능 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(기관총, 감시장비)통제체계 탑재
	지속지원	• 탑승인원 ±000명 • 공중기동(헬기탑재) 가능


■ 무인 수색차량

수색정찰부대의 전투지원으로 운용한다. 물자적재 능력을 갖추고, 이동간 AI를 활용하여 최적 이동경로를 확인하고 네트워크를 통해 전장상황을 공유한다. 원격조종 및 반자율기동이 가능한 무인화 운용 능력 보유한다.

부여임무		기능별 요구능력
- 수색·정찰 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	정보	• 통합단말기 연결 전장가시화
	기동	• 산악협로, 모래지반 등 야지 기동 가능 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(기관총, 감시장비)통제체계 탑재
	방호	• 소화기 방호
	지속지원	• 공중기동(헬기탑재) 가능

■ 무인 경전투차량

원격 및 반자율기동 능력을 갖추고, 다양한 감시·타격체계와 드론, 지뢰탐지센서 등 다양한 장비를 탑재하여 운용한다.

부여임무		기능별 요구능력
- 전투임무 수행 	지휘통제	• 상·하·인접부대 연결, 통신중계
	기동	• 산악협로, 모래지반 등 야지 기동 가능 • 포장도로 00km, 비포장 00km
	화력	• 원격사격(기관총, 감시장비)통제체계 탑재
	방호	• 기관총 방호
	지속지원	• 화생방 탐지, 음향탐지센서, 지뢰·폭발물 탐지센서


■ 다목적 무인차량

지휘소 방호 임무 수행을 위하여, 위험지역 수색·정찰과 원격사격통제시스템(Remote Controlled Weapon Systems, RCWS) 기능을 활용하여 경계지대 내 적 침투병력에 대한 타격 및 격퇴 임무를 수행한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 지휘소 방호 - 위험지역 수색·정찰 - 목표 타격 및 격멸 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> RCWS 체계 운용 부여된 지역 수색·정찰, 부여된 타격목표 명령 수령
	정보	<ul style="list-style-type: none"> 소대 지휘소 하달 명령 수령 수색 정찰 수집정보 소대 지휘소 보고
	기동	<ul style="list-style-type: none"> 000마력, 도로 00km/h, 물 000km/h
	화력	<ul style="list-style-type: none"> 00mm 수류탄 발사대 000mm 기관총 부여된 타격목표 타격 및 격멸
	방호	<ul style="list-style-type: none"> 정면 000mm, 측면 000mm
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> 1회 충전 00h

■ 대포병탐지레이더

AESA 레이더를 탑재하여 초정밀 정확도와 동시 추적능력, 탄두 식별능력을 갖추고, 적 포병 및 로켓, 항공기, 소형 드론 등에 대한 탐지가 가능하며 AI 기술을 적용 적 포병 및 로켓 사격시 탄종 및 투발수단, 사격위치와 낙탄위치에 대한 예측이 가능하다. 여단 전술지상C4I와 연동되어 예상 낙탄위치를 전파하여 피해를 최소화 한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 대포병탐지 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> 대포병화력 탐지 사격지휘통제체계(BTCS), ATCIS와 연결


■ 사격지휘장갑차

대대 작전 수행간 화력을 지원하는 중추적 부대로 화기중대장이 작전을 지휘·통제하는 지휘소 역할을 수행한다. 이를 위하여 대대로부터 임무를 수령하고, 포병사격지휘체계(Battalion Tactical Computer System, BTCS)를 운용하여 상급/인접/예하 부대 및 전방 정찰부대로부터 전장정보를 수집하며 전투계획을 수립하고 예하 소대를 지휘·통제하여 부여된 작전 임무를 수행한다.

부여임무		기능별 요구능력
- 사격 지휘 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 상급부대 지휘명령 접수, 하급부대 지휘·통제 수행 • 상/하급부대 간 통신 운용
	정보	<ul style="list-style-type: none"> • 상급/하급부대 표적정보 등 전장정보 수집 • 표적별 사격임무 수립 • 박격포에 사격 명령 하달 • BTCS체계 운용
	기동	<ul style="list-style-type: none"> • 000마력, 도로 000km/h • 탑승인원 000명
	화력	<ul style="list-style-type: none"> • 기관총
	방호	<ul style="list-style-type: none"> • 장갑 • 화생방(NBC) 방호
	지속지원	<ul style="list-style-type: none"> • 작전반경 000km


■ 자주/박격포

타격체계는 작전지역내 분산된 상태에서도 화력의 집중과 전환이 용이하도록 장거리 타격과 정밀타격 능력을 가지며 사격후 신속한 진지변환을 통해 생존성을 보장하도록 기동화 한다. 표적획득체계로부터 탐지·식별되고 지휘통제체계에 의해 추천된 표적은 제대별 자주/박격포, 화포, 공격드론으로 타격하고 자체능력 초과 시 상급부대 타격자산을 지원받아 운용한다.

부여임무		기능별 요구능력
- 표적타격 	지휘통제	<ul style="list-style-type: none"> • 사격지휘통제체계(BTCS) 연결

■ 공격드론

제대별 공격드론을 운용하여 원거리까지 제공하면서 표적 식별 및 타격을 한다. 여단 포병 대대에서 운용하는 여단 공격드론은 여단 주요표적인 적 전차, 장갑차, 포병, 지휘소를 타격하며, 대대의 전투지원중대에서 운용하는 대대 공격드론은 적 대대급 지휘소, 전투근무지원 부대, 차량화보병, 공병장비 등에 대해 타격한다. 중대의 지원소대 드론봇 분대에서 운용하는 중대 공격드론은 적 중대급 지휘소, 차량, 밀집된 인원에 대해 타격하며, 팀에서 운용하는 팀 공격드론은 중요 인원표적 등에 대해 타격한다. 여단 및 대대 공격드론은 지상부대와 근접하여 기동하면서 운용하기 위해 드론 발사대와 지상통제장비는 기동화하여 운용한다. 중대 및 팀 공격드론은 소형 및 경량화하여 운용요원이 차량에 적재 또는 도수로 운용한다.

부여임무	기능별 요구능력	
- 표적타격 	지휘통제	• 지상통제체계 연결
	정보	• 표적 사격 및 격퇴
	기동	• 작전반경 00km
	방호	• 피탈시 자체 임무 정지(자폭)
	지속지원	• 작전시간 000-000분

III. Army Tiger 4.0 체계 아키텍처 설계

3.1 국방아키텍처 프레임워크

국방아키텍처는 국방 전체 관점의 종합 설계도를 수립하여 국방정보화 투자의 효율성과 정보시스템 간 상호운용성을 증진하는 것을 목적으로 하며 다음과 <표 2>와 같이 구분하고 있다. 그리고 단위시스템 아키텍처는 도입 대상체계에 대하여 선행연구 단계 필수 산출물을 작성하여 국방아키텍처 관리시스템(ARMS: Architecture Repository & Management System)에 등록하도록 하고 있다.

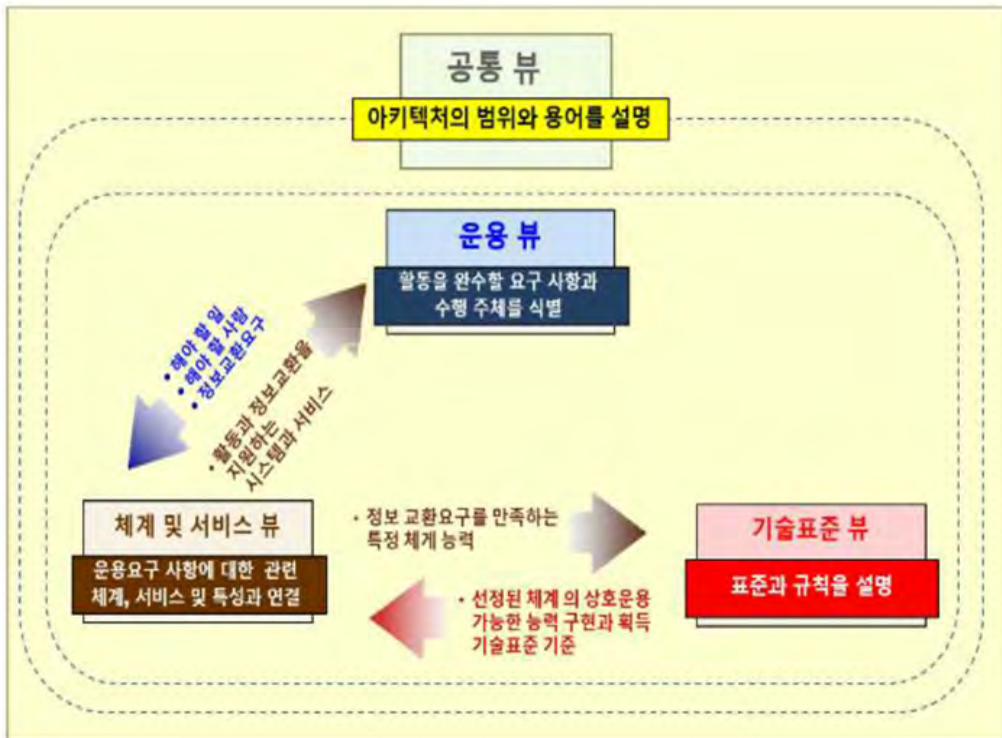
<표 1> 국방 아키텍처 구분

구분	내용
전군적 아키텍처	전군 차원의 정보화 계획 수립 지원
기관별 아키텍처	국방의 각 기관 및 조직 차원의 정보화 계획 수립 지원
단위시스템 아키텍처	정보시스템의 사업관리 및 상호운용성 증진

국방아키텍처 프레임워크(MND AF)[08] 구조는 데이터 계층(Data layer)과 표현 계층으로 구분하고 데이터 계층(Presentation Layer)은 아키텍처 데이터 요소와 그들의 속성 및 관계를 정의하고, 표현 계층은 아키텍처의 목적, 무엇을 묘사하는지와 다양한 아키텍처 분석을 소통하고 이해하기 위한 시각적 수단을 제공하는 산출물과 뷰를 정의한다.

국방아키텍처 프레임워크의 뷰 관계는 아키텍처에 포함되는 데이터의 의사결정 프로세스의 목적과 지원정보 생성 및 요구사항에 의해 정의된다. 데이터 요구사항은 능력 개발, 예산 또는 준수해야 하는 기준 여부에 관계없이 의사결정을 용이하게 하는데 필요한 요구 수준의 상세 정도에 기반을 둔다. 상세 정도나 개발방법론에 관계없이 기본적인 아키텍처 데이터 요소와 이들 간의 관계는 아키텍처 뷰와 산출물 전반에 걸쳐서 일관성을 유지해야 한다.

또한 조직의 아키텍처를 통해 조직 전반에 걸친 정보를 종합하여 거시적인 관점에서 조직 표현할 수 있다. 운용 뷰, 체계 및 서비스 뷰 및 기술표준 뷰를 연결하고 있다. MND-AF의 뷰와 뷰 간의 상호관계는 사용자가 아키텍처를 통해 상호운용성, 성능과 같은 기준을 도출하고 체계가 운영 요구사항에 미치는 영향을 측정할 수 있는 기반 정보를 제공한다.



<그림 13> MND-AF의 View 관계

* 출처 : 국방아키텍처 프레임워크(MND-AF) V 1.5

무기체계 아키텍처는 무기체계의 상호운용성¹⁾ 및 통합성을 보장하고 표준화를 위해 활용하며, 국방아키텍처는 전군적 아키텍처, 기관별 아키텍처 및 단위시스템 아키텍처로 분류하고, 무기체계에 적용하는 아키텍처는 국방아키텍처 중 단위시스템 아키텍처이다.

공통 뷰(AV-1) MND-AF는 운용, 체계 및 서비스, 기술표준의 세 개 뷰 모두와 관련된 내용을 공통 뷰로 표현한다. 공통 뷰의 산출물은 아키텍처 전반에 걸친 정보를 제공하며, 아키텍처의 각 뷰를 설명하지 않는다. 공통 뷰의 산출물은 아키텍처의 범위와 원칙, 개요 또는 내용들이다. 공통 뷰에 포함된 아키텍처의 범위는 주요 구축 범위와 아키텍처 정보가 유효한 기간이다. 아키텍처의 내용은 교리, 전술, 기법, 절차, 목적 및 비전, 작전개념(CONOPS), 시나리오 등을 기반으로 설정한다.

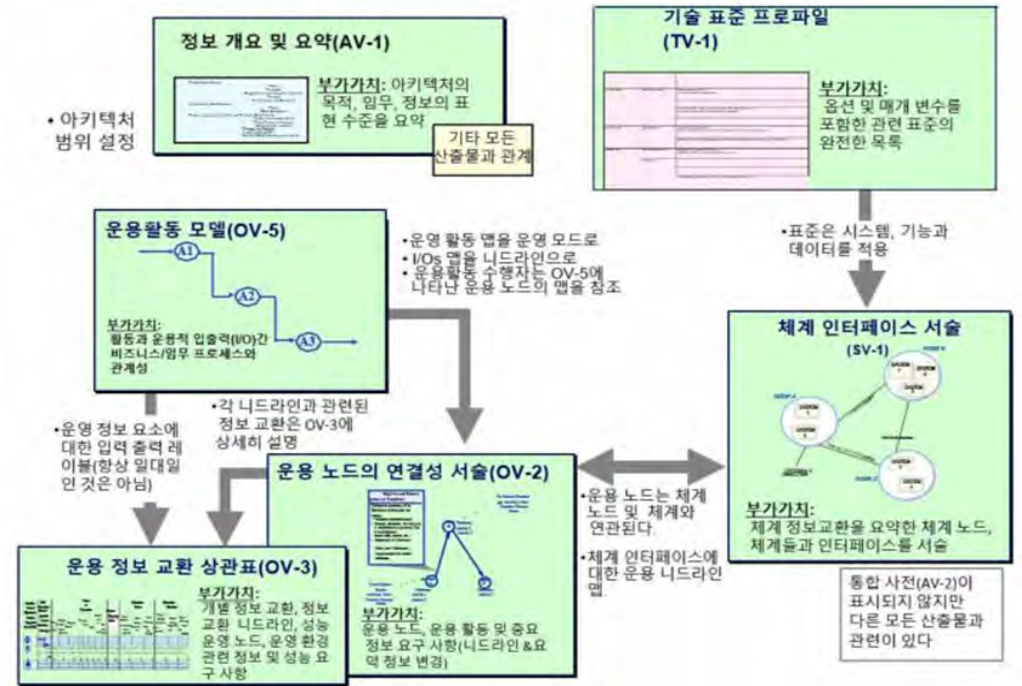
국방 정보기술 아키텍처 구분	구분	AV		OV							SV										TV											
		1	2	1	2	3	4	5	6			7	1	2	3	4			5				6	7	8	9	10			11	1	2
									a	b	c																					
기관별 아키텍처 / 전군적 아키텍처	현행 아키텍처	■	■	■			■	■				■	■		■																	
	목표 아키텍처	■	■	■			■	■				■	■		■																	
	이행계획	일반 문서로 작성																														
국방정보 시스템의 단위 시스템 아키텍처	소요기획	OV-1(운용개념도), SV-1(체계/서비스 인터페이스 기술서), SV-4a(체계기능기술서)를 일반문서로 작성																														
	선행연구 / 탐색개발	■	■	■			■	■				■	■		■																	

〈그림 14〉 국방 정보기술 아키텍처와 필수 산출물

작전구조 분석인 운용 뷰는 운용노드, 수행되어야 할 작업 또는 활동과 국방 임무를 달성하기 위해 교환되어야 하는 정보를 수집 및 추적하기 위한 뷰이다. 운용 뷰는 정보 교환의 유형, 빈도수, 정보교환이 지원하는 업무와 활동, 정보 교환의 성격을 표현하며, 작전개념 분석(OV-1), 작전노드연결 분석(OV-2) 등 으로 구성된다.

1) 각각 다른 운용목적을 가진 2개 이상의 체계 간에 잘 정의된 인터페이스를 통해 의미 있는 정보를 교환하고 이용할 수 있는 능력. 또는 서로 다른 군, 부대 또는 체계 간 특정 서비스, 정보 또는 데이터를 막힘없이 공유, 교환 및 운용할 수 있는 능력

체계구조 분석인 체계 뷰는 운용활동을 지원하는 체계, 서비스 및 이들과의 상호연결성을 설명한다. 체계 뷰의 체계기능, 서비스자원과 구성요소는 운용 뷰의 아키텍처 산출물에 연결될 수 있으며, 운용노드 간의 정보교환이 체계로 구현되는 모습을 가시화하여 운용노드간의 정보교환을 용이하게 한다.



<그림 15> 아키텍처 산출물의 관계

* 출처 : 국방아키텍처 프레임워크(MND-AF) V 1.5

아키텍처를 개발하는 방법은 구조적인 분석방법으로 접근 방법과 객체지향 방법이 있다. 구조적 분석은 IDEF(Integrated DEFINITION Methods)²⁾ 도구를 사용하고 객체지향 방법은 UML 도구를 사용한다. 소프트웨어 개발을 위한 체계를 설계하는 것이라면 UML 도구를 사용하는 것이 일반적이며, 본 연구에서도 UML 도구를 사용하여 공통 뷰(AV-1, AV-2), 운용 뷰(OV-1, OV-2), 체계 뷰(SV-1, SV-2)를 설계 한다.

통합 모델링 언어(UML: Unified Modeling Language)는 소프트웨어 공학에서 사용되는 표준화된 범용 모델링 언어로 본 연구에서는 StarUML 4.0을 사용하여 아키텍처를 설계한다.

2) ICAM 정의의 약어로 1999년에 통합 정의로 이름이 변경된 IDEF는 시스템 및 소프트웨어 엔지니어링 분야의 모델링 언어 제품군. 기능 모델링에서 데이터, 시뮬레이션, 객체 지향 분석 및 설계, 지식 습득에 이르기까지 다양한 용도로 사용

〈표 2〉 아키텍처 설계 도구

접근 방법	모델링 언어	설계 도구
구조적분석 방법	IDEF0	VISIO Pro
객체지향 방법	UML	StarUML 4.0

3.2 Army Tiger 4.0 작전구조(OV) 아키텍처

미래 지상작전 환경에서 요구되는 유무인 전투 플랫폼 및 무기체계 간 상호 연동 요구사항을 작전적 관점과 체계 운용 관점에서 분석하여, 국방아키텍처 프레임워크에 따라 상호 연동 구조를 정립하고 정보교환 요구사항을 도출한다.

3.2.1 작전개념 분석(OV-1)

여단의 임무달성을 위하여 아미타이거 대대는 다양한 무인전투체계 및 타격체계로 강화되어 통합전투력을 발휘하는 전술 기본 단위부대로써 여단의 일부로 근접전투를 수행한다. 필요시 여단으로부터 추가 전투력을 지원받으며 제한된 범위 내에서 제병협동작전을 수행하고, 여단 작전의 주축인 근접 전투부대로서 여단 작전의 기동로 확보, 후속부대 투입여건 조성, 주요 기동방어 및 점령 임무를 수행하며 전투를 수행한다. 아미타이거 대대의 운용 개념을 그림으로 나타내면 〈그림 16〉과 같다.

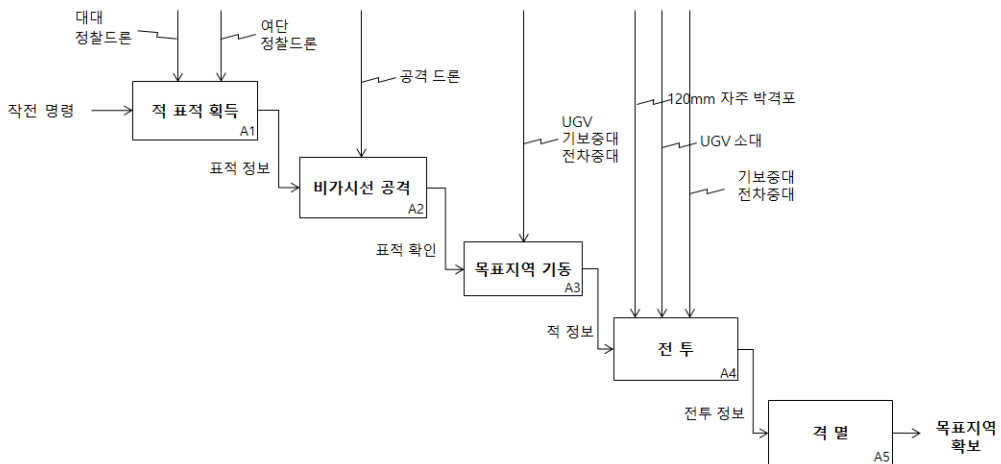


〈그림 16〉 아미타이거 4.0 운용 개념도 (OV-1)

3.2.2 작전노드연결 분석(OV-2)

작전 프로세스를 IDEF로 나타내면 <그림 39>와 같으며, 먼저 정찰감시 자산(드론)의 적 표적 획득(A1)하고, 비가시선 공격(A2), UGV 선도 기동과 기보중대, 전차중대 순으로 목표 지역으로 기동(A3)하고 목표지역 전투시 120mm자주 박격포 화력 전투(A4)를 실시한다. 마지막으로 기보중대 UGV소대는 후속 기동 및 도로를 확보하고 전차중대 목표지역 내 기동 및 중심 적 격멸 작전(A5)을 수행하여 목표지역을 확보한다.

작전 프로세스를 작전노드로 나타내면 <그림 17>과 같으며, 작전노드는 아미타이거 대대 본부, 보병중대, 박격포반, 보병팀, 지원소대, 정비반, 자주박격포, 아미타이거 대대의 핵심 자산인 정찰드론, 공격드론, 다목적 무인차량, 정찰로봇을 작전노드로 구성하고 작전노드 관계 및 행위를 정의하면 <그림 18>과 같다.

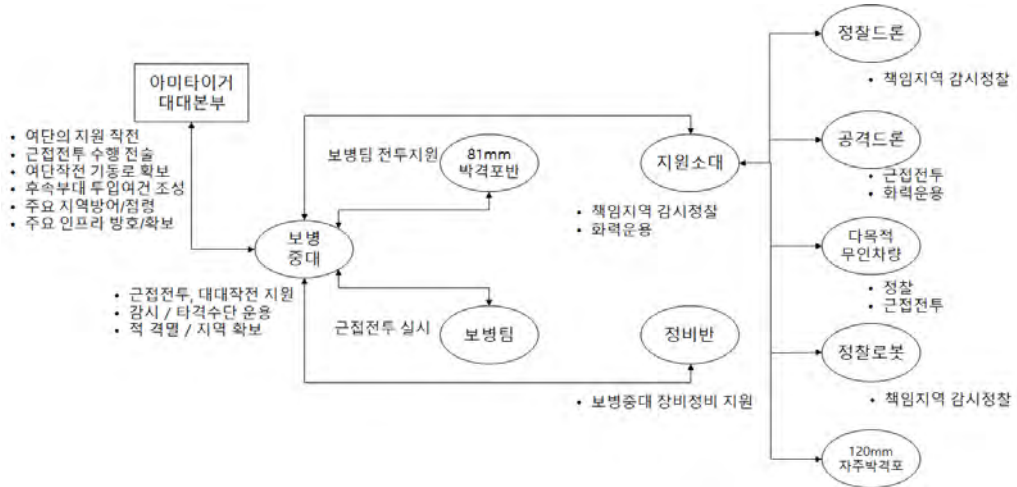


<그림 17> 아미타이거 대대 공격 (IDEF 구조적 분석)

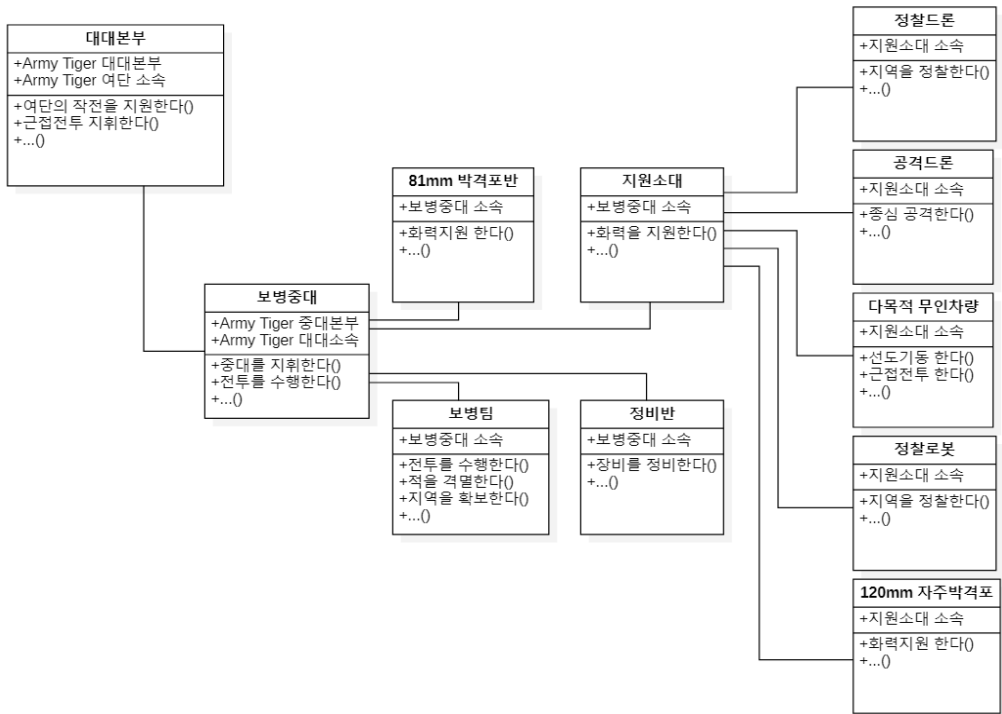
아미타이거 대대본부는 여단의 지원 작전, 근접전투 수행 전술, 여단작전 기동로 확보, 후속부대 투입여건 조성, 주요 지역방어/점령, 주요 인프라 방호/확보 임무를 수행하고 보병중대는 근접전투, 대대작전 지원, 감시/타격수단 운용과 적 격멸/지역 확보 임무를 수행한다. 정찰드론은 책임지역 감시정찰을 공격드론은 근접전도와 화력운용을 지원한다.

아미타이거 대대본부의 작전노드를 UML의 클래스 다이어그램으로 나타내면 클래스 속성과 메소드(오퍼레이션)를 식별하여야 한다. 각각의 작전노드를 클래스로 정의하고 속성과 메소드를 정의한다. 하지만 아미타이거 4.0에 대한 구체적인 요구사항이 명세화되지 않아 개념적인 클래스 다이어그램을 그려 보면 다음과 같다. 클래스의 속성은 다른 클래스와 구

별되게 하는 속성으로 이후 소프트웨어 시스템 구현 시에 필요하다. 향후 점진적으로 클래스를 정의하고 추가적인 속성과 메소드의 정의가 필요하다.



〈그림 18〉 아미타이거 대대 작전노드 (OV-2)



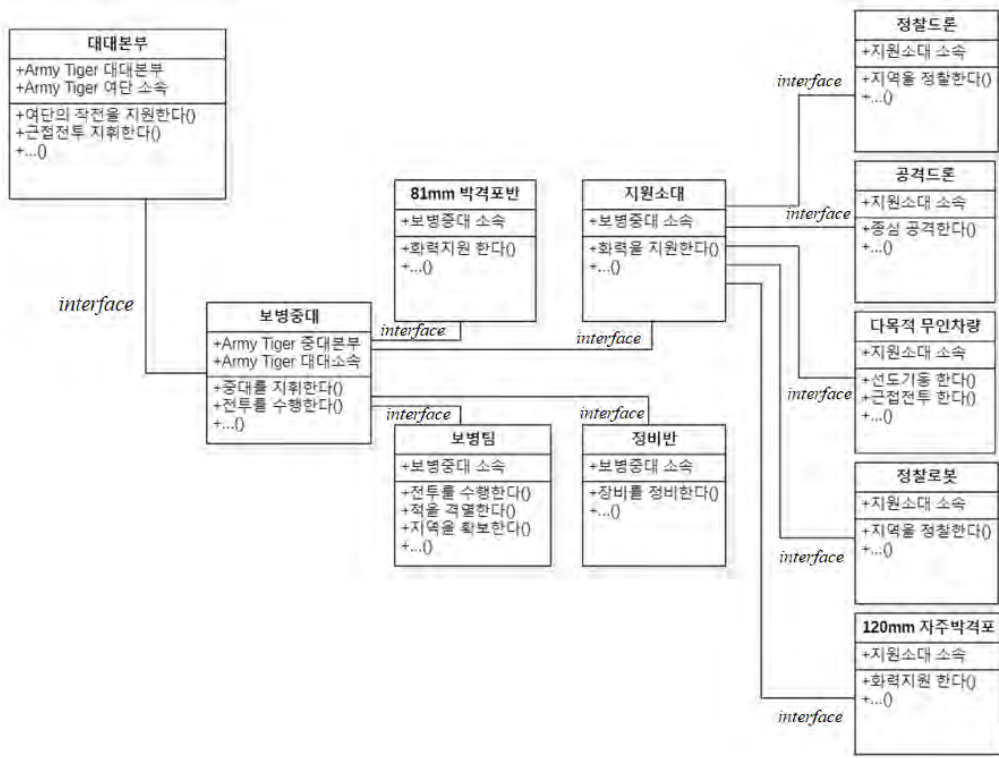
〈그림 19〉 아미타이거 대대 작전노드 클래스 다이어그램 (OV-2)

- (대대본부) 대대본부는 여단의 하부조직으로 보병중대, 전투지원중대 등 예하 중대와 정보를 공유한다. 대대에서 수행하는 근접전투를 지휘하고, 보유한 화력장비를 운용하고 또한 작전지속지원 소요를 판단/지원하고 중요지역을 확보하며 표적/타격자산을 할당한다.
- (보병중대) 보병중대는 대대의 하위조직으로 중대를 지휘하고 근접전투를 수행하고 예하 부대인 보병팀/지원소대 등과 정보를 공유하며, 중요지역을 확보하고 적을 격멸한다.
- (보병팀) 보병팀은 보병중대 소속으로 근접전투를 수행하고 적을 격멸하고 중요지역을 확보한다.
- (지원소대) 지원소대는 보병중대 소속으로 피지원부대에 화력을 지원한다.
- (정비반) 정비반은 보병중대 소속으로 보병중대에서 보유한 장비를 관리하고 정비한다.
- (드론봇중대) 드론봇중대는 대대의 하위조직으로 중대를 지휘하고 기동로를 확보하고 상/하위조직과 정보를 공유하고, 중요지역을 확보하며 선도기동을 수행한다.
- (드론반) 드론반은 드론봇중대 소속으로 정찰을 실시하고 정찰 후 확보한 첩보를 상위 부대와 공유하며, 적을 공격한다.
- (정찰로봇) 로봇반은 드론봇중대 소속으로 선도기동을 하고, 근접전투를 수행함. 중요 지역을 확보하고 장애물을 개척함.
- (정비반) 정비반은 소속 장비를 관리하고 정비함.
- (자주박격포) 자주박격포는 화력을 지원하고 보병중대를 직접 지원한다.
- (박격포) 박격포는 화력을 지원하고 보병중대를 직접 지원한다.

3.3 Army Tiger 4.0 체계구조(SV) 아키텍처

3.3.1 체계상호연결 분석(SV-1)

체계노드와 체계노드 사이의 인터페이스를 식별하기 위한 체계 간 인터페이스 기술서로 작전노드연결 분석(OV-2)에서 기술된 니드라인을 자동화하는 통신 상세내역을 명시하고 운용노드(OV-2)로 설명된 조직(구성원)의 역할을 지원하기 위해 체계노드와 노드 안의 체계를 설명한다.



〈그림 20〉 SV-1 UML 다이어그램

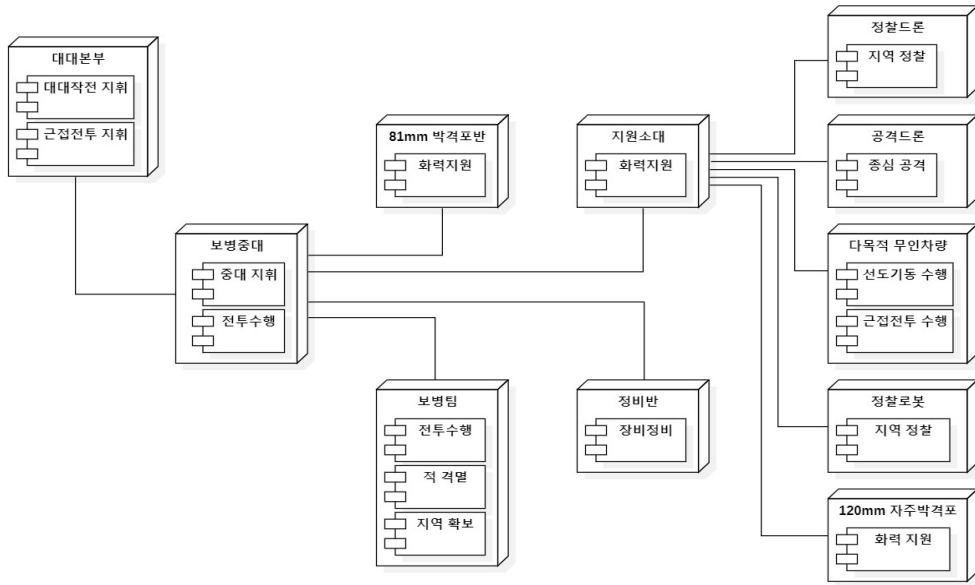
체계노드를 연결하는 방법은 여러 가지를 고려 가능하다. 아미타이거가 전력화되는 시점에서는 5G 이동통신³⁾ 보다 우수한 무선통신이 제공가능하지만 현재는 요구사항이 불명확한 상태로 최신 무선통신 기술인 5G 이동통신을 적용하는 방안을 제안한다. 5G 네트워크를 고려한 이유는 속도, 비용, 보안 측면에서 가장 우수하기 때문이다.

3.3.2 체계통신규격 분석 (SV-2)

체계상호연결 분석(SV-1) 노드에 설명되어 있는 체계 인터페이스의 통신내역을 설명하고 통신체계, 통신링크 및 통신 네트워크에 관한 관련 정보 명시한다. 인터페이스가 어떻게 물리적 통신매체의 지원을 받는지 기술하고 통신기반구조(예: 물리적 링크, 통신 네트워크, 라우터, 스위치, 통신체계 등)에 대한 세부정보를 표시해야 한다. 이를 바탕으로 디플로이먼트 다이어그램으로 그려보면 〈그림 21〉과 같다.

3) 5G 이동통신은 4G 대비 초고속, 저지연, 초연결을 제공하는 통신기술로 이를 활용하여 스마트 시티, 자율주행차, 지능형 CCTV 등 다양한 서비스 제공 가능

하지만 아미타iger 4.0에 대한 구체적인 데이터 교환 요구사항이 명세화되지 않아 현재의 가장 진보된 이동통신 기술인 5G 이동통신을 이용한 망 구성으로 가정하고 5G 이동통신을 활용한 방안을 기술한다.



〈그림 21〉 SV-2 UML 다이어그램

체계통신망으로 5G 기술을 활용한다면 작전노드별로 모듈화하여 나타낼 수 있다. 각각의 모듈은 작전노드를 중심으로 장비를 구성하여 인터페이스는 5G 이동통신망을 사용하여 구현하면 된다.

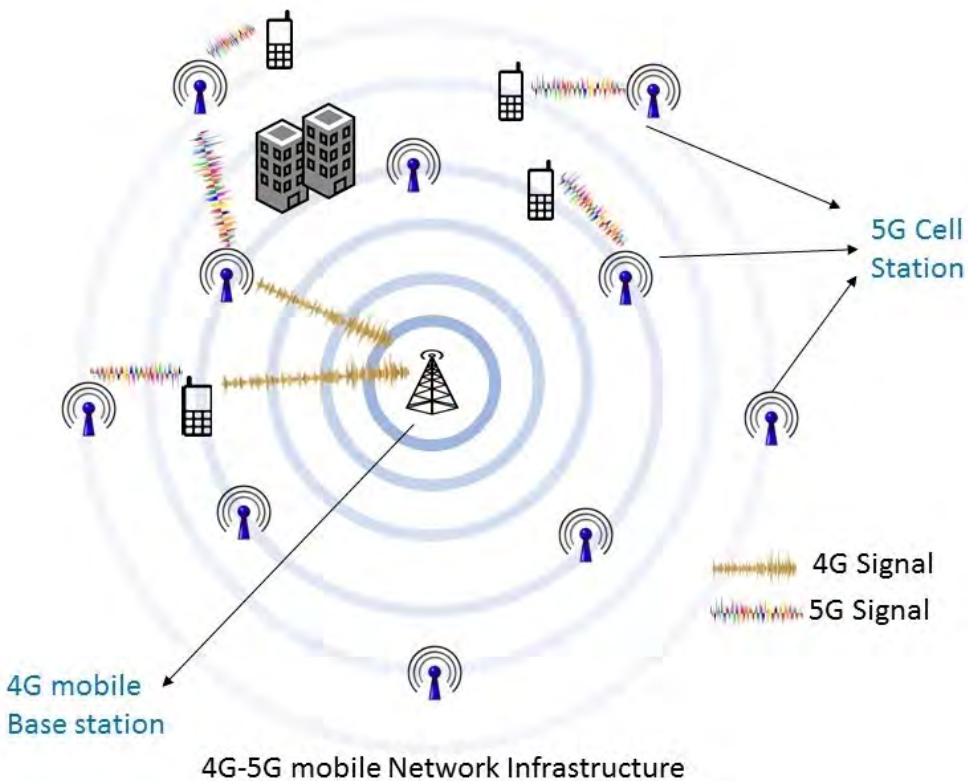
5G 이동통신은 4G 대비 초고속, 저지연, 초연결을 제공하는 통신기술로 이를 활용하여 스마트 시티, 자율주행차, 지능형 CCTV 등 다양한 서비스 제공이 가능하다. 5G 이동통신의 특징은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 5G 이동통신 특징

기능	분류	내용
초고속, eMBB (enhanced Mobile BroadBand)	최대 전송속도	20 Gbps
저지연, URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)	전송 지연	1 ms
초연결, mMTC (massive Machine Type Communication)	최대 기기 연결수	10 ⁶ /km ²

5G 통신망 구조는 통신사의 구성방식에 따라 다를 수 있으나 통신 3사와 글로벌 네트워크 장비 업체가 협업하여 5G 코어망 구축을 주도하고 있다. 2019년 4월 세계최초 3.5GHz 대역 상용화를 완료하였다.

모바일 업체가 5G 인프라를 구축하기 위해서는 5G 주파수의 밀리미터 파 (3.6 GHz, 6 GHz, 24-86 GHz 대역 등)를 고려해야 한다. 길이가 수십 센티미터 인 3G 또는 4G 주파수 (예: 850MHz, 1800MHz, 2100MHz, 2300MHz 및 2600MHz)를 비교하는 1 ~ 10mm 파가 필요 하다. 5G 네트워크 셀룰러 타워는 현재 3G / 4G 기지국 타워에 비해 훨씬 작은 셀을 위해 설계되어야 한다. 5G 셀 스테이션은 이상적으로 250-300m의 거리를 커버하도록 설계되어야 한다. 인프라는 이전의 4G 롤아웃과 상당히 다른데, 작은 수의 큰 셀보다는 많은 수의 작은 셀을 5G에 사용한다.[09]



〈그림 22〉 5G 모바일 네트워크 인프라

* 출처 : 위키피디아

IV. Army Tiger 4.0 발전을 위한 개념 연구

4.1 Mosaic Warfare 개요

2018년 11월 미국 국방전략위원회의 보고서는 국가에 소름 끼치는 예보를 발표했다. “미군은 수십 년 후 어느 때보다도 더 힘든 싸움과 더 큰 손실을 입게 될 것이고 미국인들은 결정적인 군사적 패배를 당할 수 있다.”는 것이었다. 이것은 일회성 경고가 아니었다. 미국의 잠재적 군사력 장악력에 대한 우려는 강력한 군사경쟁을 해결하기 위한 전략적 전환을 골자로 하는 2018년 국방전략(2018 NDS)[10]에 기술되어 있다. 新미국안보센터(Center for New American Security)[11]는 “수십 년 만에 처음으로 미국이 강대국들과 대규모 전쟁을 치르고, 패배할 수도 있다는 것을 상상하는 것이 가능하다”고 경고하고 있다. 강력한 전력 공격을 물리치기 위해 더 잘 준비된 미래 전력을 개발하기 위해서는 투자 증가 및 지속성과 위협이 제기되는 위협의 크기 및 위협이 증가할 잠재력에 대한 연구가 필요하다고 판단하고 있다.

미국이 선호하는 전쟁 방식과 향후의 P2P 경쟁에서 미국의 군부가 어떻게 승리할 수 있도록 설계되었는지를 바꾸야 한다는 새로운 국방전략의 발표 이후 공감대가 커지고 있다. 미국방부는 이제 미국과 동맹국들의 안보 이익에 대한 가장 큰 위협에 초점을 맞추어야 한다. 중국과 러시아의 수정주의 야망과 미국과 동맹국들이 그들의 침략 행위에 대항하여 개입을 막기 위해 접근금지/지역거부(Anti-Access/Area Denial, A2/AD) 기능을 사용하는 전투 전략을 사용하고 있다. 이를 위해 미국방부는 더욱 모듈화되고 확장 가능하며 적응력이 뛰어나며 예측할 수 없는 새로운 무기 시스템에 대한 투자를 균형 있게 조정해야 한다 [12]고 주장한다.

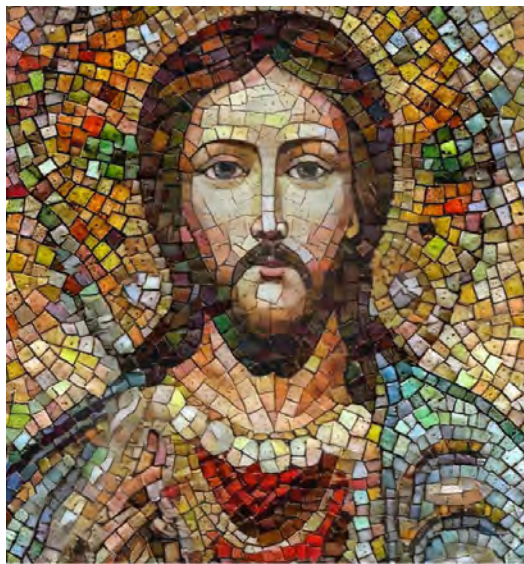
특히, 미국은 중국이 미국의 전통적인 전쟁 방식에 대항하기 위해 시스템 전쟁전략을 신중하게 설계한 방식에 대해 검토해야 한다. A2/AD 위협[13]은 종종 작전상의 난제로 취급되지만, 중국은 이를 채택하여 미국 작전의 가장 중요한 요소를 비효율적으로 만드는 전략적 수준의 효과를 달성하고자 한다. 중국은 미국의 데이터링크 공략과 정보 흐름 방해, 지휘-통제(C2) 거부, 미국 정보시스템의 물리적 ‘노드’를 겨냥해 미군 지휘관을 맹목적으로 차단하고 작전을 마비시킬 계획이다.

이러한 위협의 동시성은 고급(High-end)부터 저급(Low-end)까지로, 현재 너무 작고, 너무 오래되었으며, 너무 적은 고급 기능을 가진 미국 부대에 스트레스를 주고 있다. 미국방부의 현재 군사력 설계는 더 작은 과제를 처리하기 위해 고급 군사력을 사용해야 할 수 있

는 상황에 있다. 이것은 낮은 단계에서 적에 대한 무력 우위를 제공하지만, 장기적으로 미국의 군사력을 위협에 처하게 할 수도 있다. 인적 자본과 기술적 측면에서 볼 때, 허용 가능한 환경에서 운용을 위해 첨단 전투기를 사용하는 것은 적과 교전할 수 있는 동맹국의 준비를 약화시킬 수 있다.

미국의 군사적 지배에 대한 위협은 전적으로 외부적인 것이 아니다, 전략적이고 군사적 우위를 되찾는 데 많은 내부 조직, 관료적, 법적 장애가 있다. 미국방부의 획득 규정[14]이 대표적인 예이다. 이처럼 많은 정책, 의무 및 결과적인 관료 문화가 축적되어 부서 인수 시스템의 민첩성이 저하되고 새로운 역량을 개발하고 배치하는 데 필요한 시간이 늘어납니다. 이것은 동종 또는 근종 경쟁자들과의 장기 경기에서 미국 군대가 불리하게 된다.

모자이크전(Mosaic Warfare)[15]은 세계적으로 미국의 이익에 대한 위협이 커지는 시대에 이러한 과제를 해결할 수 있는 군사력 설계이다. “모자이크”라는 용어는 작은 힘 구조 요소들이 다양한 구성 또는 힘 표현으로 재배치될 수 있는 방법을 반영한다. 예술가들이 임의의 수의 이미지를 구성하기 위해 사용하는 작고 서로 다른 색상의 타일처럼, 모자이크 군사력 설계는 작전 체제를 만들기 위해 현재의 힘과 협력하여 많은 다양하고 세분화된 플랫폼을 채택한다. 이 시스템은 예술가가 타일을 그림으로 조립하기 위해 사용하는 모르타르(mortar) 같이 자동화와 인공지능/기계 학습을 사용하는 고급 네트워크, 데이터링크 및 보조(enabler, 조력) 장치를 사용하여 이질적인 기능을 연결함으로써 가능하다.



〈그림 23〉 모자이크 미술 작품

* 출처 : <https://pixels.com/featured/jesus-christ-mosaic-icon-yury-malkov.html>

레이더, 화재 제어 및 미사일과 같은 전투기와 같은 공통 플랫폼에서 호스팅되는 기능적 능력은 이제 가장 작은 실용적인 부분으로 분류될 수 있다. 그러나 모자이크는 유인 및 무인 항공기 협업을 극단적으로 이끄는 자동화된 접근법이 아니다. 모자이크 군사력 설계는 미국 작전 속도를 가속화하고 킬-체인을 대체하기 위해 유연하고 적응적인 방식으로 협업할 수 있는 세분화된 플랫폼을 채택한다. 모자이크는 병력 구조와 운용 개념(수단 및 방법) 사이의 동적 관계를 활용하여 적 시스템에 대한 공격적 주도권을 되찾는다. 또 다른 방법으로, 새로운 위협에 대처하기 위한 전통적인 접근 방식은 기존 군사력을 사용할 새롭고 더 효과적인 방법을 고안하거나, 군대의 임무 수행 능력을 향상시킬 새로운 능력을 확보하는 것이다. 모자이크전 개념은 두 가지를 모두 포함한다.

- **시스템 전쟁:** 적에 대한 이점과 승리를 달성하기 위해 소모나 공작에 의존하지 않는 전쟁 이론. 대신, 시스템 전쟁은 상대방의 기능을 붕괴시키고 공격을 시도하거나 자신을 방어할 수 없게 만드는 중요한 지점을 목표로 한다. 이 접근법의 주요 목표는 군사력 활용의 전략적 수익을 최대화하는 것이다(최고의 가치 달성).
- **군사력 설계:** 군대의 전쟁과 승리 이론, 교리, 작전개념, 병력 구조 및 능력, 그리고 다른 조직의 기능을 지도하고 연결하는 중요한 원칙.
- **세분화 요소:** 가장 기본적인 전투 요소(예: 식별 또는 판단 함수)로 분해된 기능. 이러한 요소는 단일 센서 식별 노드와 같은 단순한 기능에서 필요에 따라 다기능 전투기의 전체 전투 시스템처럼 더 복잡한 플랫폼에 이르기까지 사용할 수 있다.
- **노드:** 정보를 수신하고 공유하는 작전 아키텍처를 구성하는 세분화되거나 다기능화되어 있는 전투지역의 요소.
- **모자이크:** 시스템 전쟁에 최적화된 군사력 설계로 모듈화되고 확장 가능한 모자이크 군사력은 상호운용성이 높고 긴급 목표에 대해 여러 개의 동시 킬-웹(Kill-Webs)을 생성하는 분리된 기능으로 구성된다. 모자이크 군사력의 아키텍처는 속도를 위해 설계되었으며, 중요 노드를 적게 가지고, 정보의 수집과 노드의 감소에도 여전히 효과적이다.

모자이크는 정보 네트워크의 힘을 활용하여 적이 목표로 할 수 있는 미군 노드의 중요한 시스템 가치를 최소화하고, 미군 군사력의 전력투사(power-projection)가 경쟁 환경에서 효과적 이도록 하는 고도로 세분화된 킬-웹을 만든다. 동시에 기능성의 세분화를 통해 향후 모자이크 군사력은 군사작전의 스펙트럼에 걸쳐 적응성이 높을 수 있다. 모자이크 군사력 구조는 분리된 플랫폼으로 구성되며, 함께 구성되면 완전한 작전 식별-판단-결심-타격(Observe-Orient-Decide-Act, OODA)[16] 사이클과 킬-체인으로 구성된다. 보편적으로

함께 잘 들어맞는 레고 블록처럼 모자이크 군사력은 함께 구성될 수 있어 필요할 때 집중적인 맞춤형 군사력 패키지를 만들 수 있으며, 성공할 수 있을 정도의 우위로 상대 시스템을 효과적으로 공략할 수 있다.

모자이크 군사력의 구성요소들 사이의 속성, 아키텍처 및 기능 관계는 킬-체인을 분해하는 것에서 파생되고 정보 네트워크를 가로지르는 인공지능에 의해 활성화된다. 항공 우주 강국들은 역사적으로 모자이크라고 표현할 수 있는 속성을 이용해 작전을 수행해왔기 때문에 이러한 선택은 의도적이다. 모자이크 군사력의 폭은 야심적이며, 그것의 요구사항과 획득 과정에서부터 그것의 작전 계획, 전술, 기술, 절차, 그리고 실제 작전에 이르기까지 미국 전쟁의 전체 수명 주기에 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 미국방부가 전 세계적으로 미국의 이익을 위해 공헌할 수 있는 지배적인 군사력을 유지하려면 모자이크 전쟁 개념의 도입이 필요하다.

4.2 Mosaic Warfare 등장 배경

미국의 전쟁 방식은 본질적으로 공격적이다. 제2차 세계 대전 이후, 미국의 군사력은 해외에서의 국익을 확보하기 위해 미국의 주둔지에서 많은 병력을 투입하는 것에 기반을 두고 있다. 미국의 군사작전은 주도권 유지, 접근과 기동 자유 획득, 상대방이 미국의 게임 계획에 반응하도록 강요하는 공격적 원칙에 기반한다.

산업과 기술적 우위는 오랫동안 미국의 군사적 우위를 뒷받침해 왔다. 냉전 동안, 미국의 전략가들은 우월한 군사력을 집결시키고 미국과 동맹국들과의 소모전을 이길 수 있는 소련의 능력을 상쇄하기 위해 핵무기와 그들의 전달 수단을 개발하였다. 제1차 상쇄 전략[17]으로 묘사된 이 접근법은 소련의 재래식 침략을 저지하기 위한 기간 동안 충분했다. 소련이 유사한 핵 능력을 개발한 후, 미국은 상호확보 파괴라고 불리는 새로운 핵무기 전략을 채택하고 전술적 핵 능력을 기존의 전쟁 계획에 포함시켰다.

1970년대에 제2의 상쇄 전략[17]은 미국방부의 재래식 전력의 효과를 극대화하기 위한 것이다. 이 전략의 기본 이론은 만약 폭격기, 전투기, 전차 등 미국의 개별 무기체계가 더 높은 살상 효과를 달성할 수 있다면, 미군이 소련군의 대규모 병력을 무력화하는 데 필요한 능력을 갖게 될 것이라는 것이었다. 그러면 미군이 주도권을 유지할 수 있고 소모에 기초한 분쟁에서 승리할 수 있을 것이다. 이를 위해 미군은 작전영역에서 상황인식 및 지휘통제 강화, 레이저 유도폭탄 등을 이용한 정밀 공격능력 향상, 스텔스기 등 생존력이 높은 무기체계 개발 등을 위한 첨단기술을 추진했다.

이러한 기술과 병력 증강은 미군의 킬 효율성에 혁명을 일으켰다. 예를 들어, F-4 팬텀

전투기의 전체 비행대대의 무기 하중을 교각 투하로 할당하는 대신, 1회 출격과 레이저 유도 탄약도 동일한 효과를 얻을 수 있다. 이 “한 개의 폭탄, 한 개의 목표” 능력은 항공 계획자들이 비행대에 있는 다른 F-4를 추가 목표물을 공격하기 위해 재할당할 수 있게 한다. 정밀무기 기술뿐만 아니라, 정밀하게 목표물을 조준하는 능력도 획기적으로 향상되어 공군은 전시 환경에서 정보의 흐름을 보다 잘 통합시키고, 정보 처리를 가속화하며, 지휘통제 절차를 간소화하는 새로운 작전개념을 개발해야 했다.

이러한 새로운 정보전 접근법[18]의 양상은 베트남 전쟁 중에 나타나기 시작했지만, 이 개념은 1991년 이라크에 대한 사막 폭풍 작전기간 동안 더 많이 사용되었다. 레이저 유도 폭탄으로 무장한 스텔스 F-117 나이트호크 전투기들은 쉽게 이라크 방공망을 뚫었다. 스텔스 무기와 정밀무기의 조합은 무-유도폭탄을 사용한 비-스텔스 전투기에 비해 훨씬 많은 수의 목표물을 파괴할 수 있게 했다. 이유는 간단했다. 스텔스 없이 적들의 센서를 방해하고 지대공 위협을 억제하기 위해 더 많은 수의 전투기가 필요했기 때문이다. 미 공군은 은밀하고 정밀하게 생존이 가능한 비교적 소수의 전투기를 사용하여 목표물을 파괴할 수 있다.

1980년대부터 공군의 병력 설계는 탄약의 정밀 전달, 은밀함, 고급 처리, 그리고 도전받지 않는 정보 우위성이 특징이었다. 이 군사력 설계는 사막 폭풍 작전에서 놀라운 성공을 거두었다. 1991년 신기술이 이라크군에 대항한 만큼 미국과 동맹국들의 연합이 새로운 기술을 사용한 결과로 승리를 거두었다는 사실을 기억해야 한다. 미군은 전쟁기간 동안 원하는 효과를 얻기 위한 시스템 전쟁전략[19]을 제시했다. 특히 사막폭풍 항공전은 기존의 소모전이라는 군사작전 전략과는 확연히 다른 것이었다. 이번 공습은 이라크군의 지휘망을 교란하고 지도부로부터 고립시킴으로써 이라크 야전군을 고립시키기 위한 것이었다. 이것은 시스템으로서 이라크 정권을 겨냥함으로써 달성되었다.

연합군 항공 기획자들은 이라크의 정치 정권과 군대가 소련의 작전 관행과 유사한 체계로 밀접하게 연결되어 운영되고 있다는 것을 이해했다. 중앙 집중식 명령 및 제어는 시스템에 물리적으로 목표할 수 있는 네트워크와 주요 노드가 있다는 것을 의미한다. 이에 따라 연합군의 대규모 공습 계획은 이라크 군부대의 파괴가 정권 붕괴와 야전군대의 무력화를 촉발해 부대와 지도부를 형이상학적으로나 말 그대로 암흑에 빠뜨릴 수 있는 취약점을 찾아냈다. 이 시스템 전쟁 접근법은 이라크 군대의 정보와 지휘통제 시스템을 대상으로 하여 그들을 맹목(blind)시키고 그들의 행동 능력을 마비시켰다. 예를 들어, 연합군은 특히 이라크 티그리스강을 가로지르는 다리를 목표로 삼았다. 다리를 파괴하는 것은 기동성을 제한하기 때문이 아니라 이라크 방공센터의 중요 통신선이 구조물 아래를 통과했기 때문이다. 다리를 절단하는 것은 이라크 미사일 기지로부터 그 중요한 연결고리를 끊을 것이다.

사막의 폭풍 이후 10년 동안 공군은 통합 센서 스위트, 첨단 C2 시스템, 공간 기반 정밀

항법 및 타이밍을 갖춘 5세대 전투기 등 첨단 정보 중심 기술을 지속적으로 개발했다. 특히, 정보의 공유와 가속화된 킬 체인을 가능하게 하는 데이터링크는 현대 미국 군사력의 필수 요소가 되었다.

이러한 혁신에도 불구하고, 초기 미군 설계의 핵심요소는 2001년 아프가니스탄에서 ‘영구적 자유 작전’과 2003년 ‘이라크 자유 작전’이 시작된 이후 거의 포기되었다. 작전이 점점 더 격렬해지는 일상업무로 바뀌면서, 미국의 의사 결정자들은 군사적 현대화 경로를 추구하는데 편안해졌으며, 그 성공에는 관대한 위협 환경이 요구되었다. 게다가, 미군은 심각한 수준의 중앙 집중식 작전 제어를 가능하게 하는 네트워크와 유비쿼터스 정보공유에 크게 의존하게 되었다. 이로 인해 많은 사람들이 반-긴급 작전, 특히 도시지역에서의 작전 중 부수적인 피해로 인한 전폭적인 지지 (Hearts and Minds)를 잃을 위험을 줄이는 것이 필요하다고 생각하는 수준까지 이르렀다. 게다가, 일부 미국 국방 관리들은 시스템 전쟁 초기에 배운 교훈을 동료 경쟁자가 없을 때 점점 더 무관하다고 악평했다. 동시에, 동료 적수의 결여로 인식된 것은 미군이 사이버 공간을 포함한 모든 작전영역에서 항상 자유롭게 기동할 수 있다는 과신(overconfidence)을 키웠다. 미국의 네트워크-전과 정보-전의 토대는 궁극적으로 엄청난 수준의 취약성을 만든 요인이 되었다.

오늘날, 거의 실시간으로 정보를 공유할 수 있는 능력은 미국 군대에 더 나은 작전 인식과 과거 어느 때보다도 더 반응적이고 정확하게 킬-체인을 완료할 수 있는 능력을 제공한다. 사막의 폭풍 이후, 적들은 체계적으로 미군의 이점을 잠식하고, 미군의 전투력 설계에서 깊은 취약성을 이용하기 위해 노력해 왔다. A2/AD 능력을 뒷받침하는 그들의 군사 전략은 미국의 전투지역에 대한 물리적 접근을 차단하고 기동능력을 약화시키기 위해 고안되었다.

2018년 NDS를 구현하려면 미군 군사력 설계의 변경이 매우 중요하다. 군사 전략은 일반적으로 목적(Ends), 방법(Ways), 수단(Means)으로 구분된다. 목적은 국가의 적들을 만류하고 저지하거나 분쟁의 스펙트럼을 넘어 그들을 물리치는 것과 같은 목적이다. 만류하거나 저지하기 위해서, 군대는 상대에게 믿을 만한 위협을 가하고, 지도부가 정당한 대가를 치르고 목표를 달성하거나 그렇게 할 수 없을지도 모른다는 결론을 내리게 해야 한다. 미군이 미국의 동맹국을 보장하고, 갈등을 억제하고, 억지력이 실패했을 때 나라를 지키는 것도 이런 식이다.

전략의 방법은 목표를 달성하는 방법과 폭격기, 전투기, 선박 또는 탱크와 같은 수단들을 실행하는 도구이다. 모든 분쟁에서, 군사력의 구조와 능력은 전략 기술의 이용 가능한 형태이다. 수단과 방법은 밀접하게 결합된다. 군사(수단)와 전술, 기술, 절차 및 작전 개념(방식)이 보유한 무기 시스템은 일정하고 역동적인 방식으로 상호작용한다.

군사력 설계(Force Design)라는 용어는 군대의 기본 원칙과 구성, 즉 군대의 조직, 교리

와 작전개념, 무기체계, 전술, 기술, 절차, 그리고 군사전략의 정의를 뒷받침하는 군사력의 시위를 설명하기 위해 사용된다. 군사력 설계는 전략의 목적을 가장 잘 달성하기 위한 방법과 방법의 의도적인 구성이며, 군의 수단은 그것이 운용할 수 있는 방법을 제한하고 따라서 그것이 성취할 수 있는 한계를 제한한다.

전쟁은 하나의 투쟁이고, 사람들은 그 투쟁의 맥락에서 어떤 군사력 설계를 기초하는 원칙을 개념화해야 한다. 소련이 몰락한 이후, 미국의 군사력 설계는 주로 국가의 국방전략을 지원하기 위해서가 아니라 임의적인 예산 목표를 달성하기 위해 일련의 국방 자원 감축에 의해 추진되었다. 다시 말해서, 그것은 의도적인 전략적 비전의 산물이 아니다. 새로운 위협에 대응하여 작전개념과 전술이 빠르게 진화할 수 있고, 기존 무기 시스템의 혁신적인 사용으로 강력한 새로운 효과를 창출하게 했다. 하지만, 오래된 물건을 새로운 방법으로 사용하는 것은 단지 멀리까지 갈 수 있을 뿐이고, 종종 군대가 새로운 무기 시스템을 개발하고 배치하는 데는 수십 년이 걸린다.

오늘날, 적대국들은 미국의 오래된 기존의 전쟁 방식과 그것의 내재된 취약성을 무디게 하거나 해체하기 위해 그들의 군대와 작전개념을 개발하고 있다. 미국이 경쟁력을 회복하려면 새로운 미군 설계가 필요하다. 즉, 국방부가 2018년 국방전략의 목표를 달성할 수 있는 방식으로 군사력을 적절히 배합하고 양적으로 개발해 이를 채용할 준비를 해야 한다. 이것이 미군이 새로운 군사력 설계를 채택해야 하는 주요한 이유이다. 그렇게 하지 않으면 너무 작고, 너무 오래되고, 너무 연약하고, 지나치게 과한 군사력 설계 때문에 미래의 큰 권력 충돌에서 패배할 위험이 있다.

4.3 현재 미군 군사력 설계의 문제점

만약 미군이 목적을 달성해야 하는 방법이 수단으로 제한된다면, 단순히 새로운 역량을 재투자하고 실전배치 하는 것은 어떨까? 자본력과 현대화만으로 국가가 필요로 하는 강력한 설계를 창출할 수 있을까? A2/AD 등 당면 과제를 잘 이해하고 있지만, 미국방부의 일부에서는 이를 극복하기 위한 기존의 선형 접근 방식을 계속 고수하고 있다. 진보된 기술 혁신은 의심할 여지 없이 미래 군대의 중요한 요소가 될 것이지만, 미국방부는 중국이 미군을 시스템으로 목표로 하는 방법에 대항하기 위해 어떻게 가장 잘 사용될 수 있는지에 대한 개념 개발을 게을리해서는 안 된다.

중국의 전략은 적국의 군사 시스템을 목표로 하고, 방해하고, 무력화시키는 것이다. 새로운 군사력 설계와 결합된 새로운 작전개념은 중국의 전략적 가정과 그들이 목표로 할 중요한 지휘통제 위치의 가치를 부정하는 것이 필요하다. 또한, 이러한 개념과 군사력 설계는

미래의 미군이 적에게 심각한 비용을 부과할 수 있는 충분한 합법성과 민첩성으로 전력을 제시할 수 있도록 보장해야 한다. 현재 미군이 처해 있는 문제점[15]은 아래와 같다.

새로운 위협에 대한 기존 접근 방식 의존.

현재 미국방부 토론[20]은 A2/AD 문제에 대처하기 위해 어떤 기술과 접근 방식이 필요할지에 대해 초점을 맞추고 있다. 미국은 대치 무기를 사용하는 외부로부터의 전투로 전환해야 하는가? 미군이 멀리서 정밀 킬-체인을 완료하는 데 필요한 정보를 어떻게 얻을 것인가? 기동 자유를 얻기 위해 첨단 통합 방공 시스템을 거부하기 위해 어떤 능력이 필요할까? 그리고 만약 미군이 경쟁 지역에 침투할 계획이라면, 그들은 살아남기 위해 어떤 기술이 필요할까?

이들은 또한 추가적인 군사력과 더 나은 A2/AD 기술을 배치하여 해결할 수 있는 수학 문제를 적에게 제시할 선행, 소모전 기반 접근법이다. 다른 관점들도 마찬가지로 선행적이다. 또한, 이러한 논쟁은 주로 전역의 지리적 특징과 공격력 구성(육상 대 해상력 등)에 초점을 맞춘 차이와 함께 러시아와 중국의 A2/AD 과제를 유사한 방식으로 다루고 있다는 점이다. 러시아의 A2/AD 시스템 사용 원칙은 비교적 관습적이기 때문에 위에서 강조된 것과 같은 전통적인 접근 방식은 러시아의 침략을 저지하는 데 도움이 될 수 있다.

유사한 작전개념과 군사력 설계가 중국에 불리하게 작용할 것이라고 믿는다면 이는 위협한 가정이다. 전통적인 방법으로 새로운 기술을 사용하는 것이 중국이 이용하려고 준비하고 있는 미국 작전 아키텍처의 약점을 충분히 완화시킬 것 같지는 않다. 스텔스 전투기 및 B-21 레이더 폭격기와 같은 고급 기능의 완전한 가치와 잠재력을 얻기 위해, 미국방부는 보다 광범위하고 강화된 전략의 맥락에서 이를 증강하고 채택해야 한다. 중국의 A2/AD 기술에 대항하기 위해 대응적이고 선행적인 접근 방식을 계속 고수하는 것은 시간이 지남에 따라 미국의 비교 군사적인 이점을 더욱 약화시킬 수 있다.

하급 및 고급 위협에 대해 균형 유지 필요.

미국방부는 또 다른 전략적 선택을 해야 한다. 적에 대항할 수 있지만 용량 요구사항을 충족하지 못할 수 있는 기존의 무기 시스템을 계속 구축해야 하는가? 아니면 하급 작전을 위한 더 많은 저-능력의 플랫폼을 구입해야 하는가? 미국방부는 둘 다 할 여유가 없다. 실제로, 현재의 국방예산은 미국이 필요로 하는 고급 플랫폼의 수를 조달하거나 그들이 필요한 속도로 그렇게 할 수 없다. 저-기능을 위한 예산 공간이 없다. 이러한 맥락에서 군사력 설계에 대한 현재의 접근 방식은 2018년 NDS의 요구를 충족시키기 위해 고급 기능에 편향될

수밖에 없다.

2014년 이슬람국가(IS)의 급속한 확장은 조기 군사해체 이후 발생할 수 있는 위협성에 대한 경고의 역할을 했다. 그러나 F-16 Fighting Falcon, F-15E Strike Eagle, F-22 및 F-35 Lightning II 전투기와 같은 더 높은 기능을 사용하면, 덜 까다로운 작업에서도 비효율적이고 비용부담이 크며 장기적인 건강 및 준비 태세에 해로울 수 있습니다. 높은 작전 속도를 지속하면 수명이 제한된 첨단 무기 시스템을 조기에 소진하고 국방예산을 더욱 절감할 수 있습니다. 실행 가능한 대안이 없는 상황에서, 보급형 충돌에 대한 고급 전력에 의존하는 운영자는 전투 우위를 상실하고 지능적 위협에 신속하게 대응할 수 있는 준비를 줄일 수 있다. 완료된 준비 상태는 보안 허점을 이용할 수 있는 적들의 모험적인 행동에 동기를 부여한다.

미국의 군사력 설계는 분쟁의 스펙트럼을 적절히 구성하고 확장할 수 있어야 한다. 준비 상태, 군사력 유연성 또는 미국방부의 현재 군사력 설계는 이 목표에 역행한다. 그렇다고 해서 일부 고급 자산 사용을 저급 지역에서 자제해야 한다는 뜻은 아니다. 군 관계자는 누구나 알고 있듯이 비교적 관대한 환경에서도 작전을 전개하고 지원하기 위해 필요한 최소한의 실행 가능한 전력과 지원책이 필요하다. 저가형 또는 다른 방식의 향후 같등은 모듈형, 목적에 적합하고 합리적인 군사력을 필요로 한다.

예산 제한에 따른 새로운 군사력 설계 필요.

소련의 쇠퇴 이후, 예산 압박은 미국의 군사력 설계를 형성하는 주요 요인이었다. 적들의 위협이 없다면, 모든 군사력은 평화 보상을 받을 수 있다는 이익에서 급격한 감소를 겪었다. 공군은 1990년대에 병력 구조의 절반 이상을 잃었고, 현재 전력량은 사상 최저 수준이다. 냉전 이후 수년간 그리고 테러와의 전쟁을 통해 이들 위협은 겉으로 보기에 먼 관심사로 여겨지고 있는 가운데, 국방성 안팎에서는 단기적으로 고급 병력의 현대화 예산을 삭감[21]하기로 결정했다.

새롭게 등장하는 실제 운영 요구에 부합하는 수준에서 새로운 무기 시스템을 재투자할 수 없는 공군은 구형 전투기의 서비스 수명을 연장하기 위해 서비스 수명 연장 프로그램(Service Life Extension Program, SLEP)에 자금을 지원했다. 자본화율이 감소하면 SLEP 프로그램의 비용이 증가하는 경향이 있으며, 이는 새 전투기를 구입할 수 있는 비용이 적다는 것을 의미한다. 이 악순환은 오늘날에도 여전히 일어나고 있다.

더욱 능력 있고 다-기능적인 전투기 및 기타 수단의 비용 증가는 군사력 설계에도 영향을 미친다. 프로그램 비용을 절감하는 규모의 경제를 추구하는 것이 타당하다. 그러나, 냉전

시대에는 이것이 항상 그렇지는 않았다. 대신, 첨단 무기 시스템을 위한 대형 프로그램들이 삭감되었는데, 그 이유는 돈이 있는 곳이기 때문에 단가가 증가했기 때문에 추가 감축을 받는 경우가 종종 있었다.

특히 센서 슈터 등 복수의 기능을 수행할 수 있는 전투기와 기타 시스템은 군사력 설계의 임무 유연성과 치명성을 증가시킬 수 있다. 그러나, 냉전 이후 시대에, 많은 국방성 지도자들은 무기 시스템의 증가된 효과를 병력 구조를 줄이거나 새로운 시스템을 덜 구입하기 위한 정당화로 사용했다. 이로 인해 오늘날의 전투기 재고가 적과의 분쟁 용량 요구를 충족할 수 없게 되었다. 전투기가 아무리 성능이 뛰어나도 한 번에 두 곳 이상 들어갈 수 없다.

미래 군사력 설계를 고려할 때 원래의 두 번째 오프셋 전략의 광범위한 맥락을 기억하는 것이 중요하다. 세컨드 오프셋 전략 기술은 소련의 중앙 유럽 침공을 저지할 수 있는 미국의 작은 군사력을 제공했지만, 이 작은 병력은 적의 더 큰 질량을 견제하기 위해 전술 핵무기에 계속 의존했다. 오늘은 상황이 다르다. 미국은 전술 핵무기의 우위를 포기했을 뿐만 아니라, 강력한 경쟁국들의 군사 현대화 프로그램이 미국의 기술적 우위를 약화시켰다. 첨단 무기의 확산과 향상된 정보 처리 및 소프트웨어는 미군의 기존 능력을 극적으로 약화시켰다. 사막의 폭풍에서 미군이 일반적으로 누리는 이점이 경쟁자들에게까지 확산된 셈이다.

5세대 전투기와 같은 첨단 기능은 최신 소프트웨어와 센서 융합 기능을 결합한 믿을 수 없을 정도로 강력한 무기 시스템이다. 하지만, 숫자는 중요하다. 너무 오랫동안 주요 예산 결정을 담당하는 미국 지도자들은 단기적인 재정 절감에 너무 많은 위험을 감수하고 무기 시스템의 우월성을 지적함으로써 그들의 결정을 합리화했다. 이제는 미군이 더 이상 그런 기술적 우위를 행사하지 않는다는 점을 인식해야 할 때다. 더 작지만 더 많은 능력을 갖춘 것은 새로운 강대국 경쟁의 시대에 있는 신화이며, 미국의 미래 군사력 설계는 더 많은 능력과 용량을 창출해야 한다.

무기 시스템의 생존성/치사율과 군사력 설계의 균형 필요.

전투기와 같은 무기 시스템은 내부 공간이 제한되어 있다. 전투기 설계의 핵심 요소는 공간, 무게, 전력, 비용을 의미하는 SWAP-C로 특징지어진다. 항공 엔지니어들은 일반적으로 특정 임무에 필요한 범위, 속도, 내구성, 기동성 및 탑재량을 위해 균용 전투기를 설계하는 데 주력해 왔다. 과거에는 전투기 탑재량이 얼마나 많은 무기를 탑재할 수 있는냐에 따라 결정되는 경우가 많았다. 전투기가 더 다기능화됨에 따라, 탑재체 요건은 센서, 프로세서 및 기타 임무 시스템의 통합을 고려해야 한다.

이제 미국방부는 A2/AD 환경을 침투하고, 할당된 임무를 실행한 다음, 안전하게 기지로

복구할 수 있는 미래의 힘을 만드는 데 어려움을 겪고 있습니다. 새로운 위협에 대처하기 위한 기존의 접근 방식은 임무 수행에 영향을 미치는 자들의 생존을 보장하기 위해 사용되는 방어 시스템의 수를 늘리는 것이다. 시스템 수준에서 스텔스 전투기의 탑재량 제약을 고려할 수 있다. 이러한 전투기는 도전적인 레이더 환경에서 탐지되지 않기 위해 내부적으로 무기를 휴대해야 한다. 그 결과, 스텔스 구성에서 더 작은 무기 하중을 운반하도록 제한된다. 외부에 무기를 장착하는 대안은 적의 센서에 의해 탐지될 확률을 높인다. 여기에 더하여 침투 전투기가 방어 기능을 위해 정보를 수집하는 시스템을 보유해야 하는 필요성이 증가하고 있으며, 이는 공격 시스템에 사용할 수 있는 내부 용량을 감소시킨다.

특정 시점에서, A2/AD 환경에서 운용해야 하는 전투기 및 기타 무기 시스템의 생존성 향상에 중점을 두는 것이 공격적 운용을 위한 임무 시스템으로 그들의 임무를 설정하는 것을 능가할 수 있다. 사람들은 공격 능력을 위한 공간을 거의 또는 전혀 남겨두지 않고 무기 시스템의 SWAP-C와 탑재 용량을 모두 가져가는 방어 시스템을 상상할 수 있었다. 이러한 논리를 매크로 수준으로 확장하면, 새로운 위협에 대처하는 기존의 접근 방식은 공격 능력을 희생하여 군의 무게중심을 방어 능력으로 전환하는 무력 설계를 생성할 수 있다. 미군을 위한 새로운 군사 설계는 방어 능력과 공격 능력의 균형을 이루도록 노력해야 한다.

무기체계 획득 시스템의 제한.

이는 단지 예산 압박이 아니라 미국의 군사적 우위를 위태롭게 했다. 5세대 및 첨단 전투기만큼 강력한 성능을 갖춘 미군 병력은 복잡한 무기 시스템을 개발 및 운용하는 데 거의 20년이 걸리기 때문에 여전히 취약한 것이 사실이다. 프로세서, 재료 및 컴퓨팅 능력의 놀라운 발전 속도를 감안할 때, 20년의 개발 주기는 미국의 최신 무기 시스템이 전력화 시 최첨단 기술을 몇 세대 늦출 수 있다는 것을 의미한다. 수십 년간 지속된 방위 획득 프로그램에 의존하여 대규모 다중 능력 플랫폼을 제공하는 패턴은 더 빠른 속도로 전진할 수 있는 적에 비해 영구히 노후화에 가까운 전력을 만드는 데 원인을 제공했다.

분명한 것은 인수 개혁이나 미국방부 정책의 점진적 변화에도 불구하고 더 많은 것이 미국의 적들에 대한 우위를 회복하지 못할 것이라는 점이다. 고급 기능의 개발과 현장 개발을 가속화하기 위해 수많은 조직이 설립되었습니다. 2016년 국방수권법 809조가 지시한 대로 기존의 미국방부 5000 시리즈 획득 프로세스에 더 빠른 대안을 제공하기 위한 기타 거래 당국(Other Transaction Authority, OTA) 합의의 유효성을 검토하였다. OTA 협정은 유용하지만, 새로운 무기 시스템이 프로토타입에서 프로덕션 모델로 빠르게 발전한다는 보장은 여전히 부족하다.

기술 개발 속도와 새로운 위협에 대응하는 진정한 미국방부 획득 개혁은 쉽지 않아 보인다. 기존 획득 시스템에서 해결하려는 노력은 종종 혁신 부족, 프로그램 지연 및 비용 초과 의 근본 원인을 직접적으로 해결하지 못한다. 진정한 효과를 얻으려면, 모든 접근 방식이 기존의 획득 시스템 제약 조건 내에서 그리고 관련 일정 에 따라 현장 역량을 발휘할 수 있어야 한다. 이것은 관료주의적 프로세스와 개혁에 저항하는 문화에 의해 만들어진 문제를 다루는 새로운 군사력 설계 개념에 의해 해결될 수 있다.

현 정보망의 군사력 개혁의 기회 상실 가능.

과거 미군이 순조롭게 전투 지역을 지배할 수 있게 했던 정보 아키텍처와 지휘통제 시스템은 현재 점점 더 위협에 처해 있다. 우호적인 환경에서 대개릴라전 작전을 지원하는 전략적 맥락의 구성에서 이들의 아키텍처, 보안 기능 및 기타 속성은 강력한 무력 충돌에서 생존할 수 없다. 제한적이고, 고정적이며, 부서지기 쉬운 미국의 정보망은 중국과 러시아의 이익이 되는 대상이 되고 있다.

현재 데이터링크와 네트워크의 개발이 세분화된 작업을 수행하기 위해 웹의 여러 킬 경로에 의존했던 미국의 더 탄력적인 설계를 이끌었어야 했다. 네트워크는 보다 효율적인 교차-정리(Cross-cuing)를 통해 킬-체인을 가속화했지만, 세분화되고 분산된 운영으로 이어지지 않는 않았다. 대신, 지휘관들은 일반적으로 정보 네트워크를 사용하여 작전을 중앙 집중화했다. 데이터링크를 통해 더 높은 수준의 명령이 조정자(cockpit)에 도달하고 운영자를 위한 참여 결정을 내릴 수 있었다. 네트워크 지원, 중앙 집중식 운영은 오늘날의 군 병력이 동기화되고 독립적인 방식으로 운용할 수 있는 능력을 상실하고 있음을 의미한다. 중앙 집중식 명령 및 제어를 통한 세부적인 관리는 작전에 막대한 비효율성과 위험을 초래합니다. 상급본부의 위원회별 전술적 의사 결정과 집행은 대개 급변하는 상황을 충족시키기에 필요한 속도로 움직이지 못한다. 전투 환경의 최전방에 있는 실행자들이 종종 복잡한 상황을 가장 잘 이해한다는 것도 인식하지 못한다. 전략적, 작전적, 전술적 통제의 긴밀한 결합은 미국이 사막 폭풍 작전에서 이라크군을 마비시켰던 시스템 전쟁전략이 달성하고자 하는 바로 그것이다.

정보망과 데이터링크 기능은 스펙트럼에 정통한 적에 실패 가능.

중앙집권화된 C2 및 기타 작전구조에 의존하는 미군 병력과 작전개념은 적들에게 복잡하고 간교한 문제를 제기하지 못한다. 현재의 미군 설계는 너무 적은 5세대 전투기와 다른 첨단 무기 시스템으로 구성되어 있다. 또한, 소수의 네트워크 또는 고부가 가치 공중 자산

(High-value Airbone Assets, HVAA)[22]의 손실은 적에 대한 미국의 작전에 큰 영향을 미칠 수 있다. 너무 적은 수의 고급 무기 시스템(모두 취약한 네트워크에 의존하는)에 의존하는 미국의 군사력은 적들의 작전 문제를 감소시킨다.

군사력 설계는 새로운 전략 및 위협 고려 필요.

지난 18년간의 대게릴라전은 미군의 작전개념과 교리, 기술 간의 단절을 가져왔다. 미군은 작전술과 시스템 전쟁의 지적 기반을 발전시키는 대신, 반란군과 테러리스트 극단주의 단체들을 퇴치하기 위한 소모전 중심의 점령 위주의 전략으로 후퇴했다. 미국의 군사작전은 C2, ISR, 통신 및 기타 작전에 대한 정보 시스템과 네트워크에 의존하게 되었고, 군사력 충돌의 취약성에 대한 충분한 고려가 이루어지지 않았다. 이러한 C2, 통신, 컴퓨터 및 ISR 자산은 대부분 약한 상대와의 갈등에서 우세한 비교적 관대한 환경을 지향하고 있다. 즉, 미군은 이제 고급 시스템 전쟁에서 살아남기 위해 설계되지 않은 정보 네트워크와 시스템에 의존하고 있다. 또한, 미래 정보 시스템과 네트워크의 설계를 형성할 시스템 전쟁에 대한 전략도 부족하다. 미국방부의 방어 획득 시스템이 지질학적 속도로 실행된다는 점을 고려할 때, 미래 전력을 구축하기 위한 현재의 접근 방식은 강력한 전력의 적들에 비해 우위를 유지하는데 필요한 역량과 용량을 제공하지 못할 수 있다. 미래의 어떤 군사력 설계도 이러한 틈새에 대비해서 체계화되어야 한다.

4.4 Mosaic Warfare 개념

미국의 현재 방위사업의 부족을 해결하고, 2018년 국방전략의 목적과 방식, 수단 간 상호의존성이 많은 점을 감안할 때, 새로운 군사력 설계는 강대국 적들이 겨냥할 수 있는 결함을 극복하는 압도적 작전개념에서 도출해야 한다. 미국방부는 2018년 NDS에 기술된 속도 위협으로부터 현존하는 위협을 물리치기 위해 세분화된 다수의 무기 시스템과 제휴된 현재의 고성능 무기 시스템의 강점을 기반으로 하는 군사력 설계를 제안한다. 실존적 위협을 물리치는 것에서부터 폭력적인 극단주의 조직을 제거하는 것까지 다양한 임무와 위협 환경에 대한 적응력이 이 새로운 군사력 설계의 핵심 속성이다.

미군을 위한 새로운 군사력 설계를 만들기 위한 첫 번째 단계는 시스템 전쟁전략을 지원하기 위해 미군을 정렬시킬 개념을 정의하는 것이다. 정보 네트워크는 세분화된 시스템 전쟁을 가능하게 하지만, 모자이크전[23]은 단순한 정보 아키텍처 그 이상이다. 모자이크전은 요구사항 및 획득 프로세스, 작전개념, 전술, 기술 및 절차의 작성, 전투 작전 외에 프레젠테

이선 및 병력 할당 조치를 포함하는 시스템 전쟁을 위한 포괄적인 모델을 제공한다. 모자이크전은 단순히 킬 체인의 신속한 임무 수행에 관한 것이 아니다. 모자이크 군사력 설계의 특성은 긴급한 새로운 요구사항에 신속하게 대응하고, 혁신적이고 다양한 기능을 통합하고, 또는 작전 계획을 수립하든 상관없이 미군 전사적으로 행동 속도를 높이는 데 도움이 될 수 있다. 모자이크 군사력 설계가 가지고 있는 주요한 특징 및 중점[14]은 아래와 같다.

- **성능이 뛰어난 다기능 전투기를 부가적이고 세분화된 시스템과 결합하면 미군 아키텍처의 취약성을 감소시키는 협업 팀 구성 운영을 강화한다.**

현재 병력에서 매우 유능한 시스템은 특정 기능을 매우 잘 수행하지만, 제한된 수는 지휘관의 전략적 옵션을 제한한다. 더욱이, HVAA와 같은 소수의 시스템 손실은 미국 작전에 큰 영향을 미칠 수 있다. 협업적으로 분리된 역량과 고도로 유능한 전투기를 팀으로 구성하면 임무 효과를 크게 향상시킬 수 있다. 세분화된 플랫폼의 손실은 전체 시스템의 기능을 위태롭게 하지 않는다.

- **세분화된 플랫폼은 비록 고급 기능을 갖추어도 높은 성능을 갖춘 플랫폼보다 더 저렴하고 더 많은 수를 획득한다.**

센서 및 시스템 통합은 주요 새로운 기능 비용 중 증가하는 비중을 나타낸다. 향후 플랫폼의 센서 양을 줄이면 크기, 중량, 복잡성 및 전체 단가를 줄이는 데 도움이 될 수 있다. 프로그램 비용이 낮아지면 미국방부는 더 많은 새 시스템을 구입하고 전력량을 늘릴 수 있다.

- **세분화된 플랫폼으로 증강된 성능이 뛰어난 전투기는 미래 군사력 설계의 개발, 시험 및 전력화를 가속화한다.**

무기 시스템이 복잡할수록 무기 시스템을 개발하고 테스트하고 전력화하는 데 더 많은 시간이 걸린다. 더 세분화된 플랫폼을 조달하는 방향으로 전환하면 미국방부가 2018 NDS를 지원하는 데 필요한 군사력 설계를 생성하는 데 필요한 시간을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.

- **역동적이고 협력적인 방식으로 운영될 수 있는 고도로 능력 있고 세분화된 플랫폼의 혼합적인 군사력을 만들면 미국 위정자와 지휘자가 분쟁 스펙트럼 전반에서 작전 요구를 충족하도록 그들의 부대를 더 잘 조정, 운영할 수 있다.**

더 모듈화된 군사력 구조를 통해 작전 지휘자는 원하는 결과를 얻기 위해 기동부대를

더 잘 구성할 수 있으며, 성능이 뛰어난 시스템이 저급 임무를 지원하는 데 과도한 부담을 주지 않도록 할 수 있다. 만약 지휘관이 분쟁의 시기에 가까운 전투 시스템을 구성할 수 있다면, 먼 미래를 예측하는 불확실성은 줄어들게 된다.

- **주도권을 유지하고 적군의 작전에 적응하는 것을 방해하기 위한 영역(Domain)의 통제 강도와 공격 밀도를 조절할 수 있도록 병력 구조를 확대해야 한다.**

향후 전장에서 이들을 연결하는 고성능 플랫폼, 세분화된 시스템 및 복원력 모자이크 활성화 장치의 품질과 양을 증가시킨다는 것을 의미한다.

- **미래의 적들을 놀라게 하고 그들이 군사작전을 예측하고 대비하는 능력을 거부하는 군사력을 신속하게 전개할 수 있어야 한다.**

놀라움은 그것의 완전한 기능을 보장하는데 필요한 결합력을 얻기 위해 수개월이 걸리는 군사력으로는 실현될 수 없다. 세분화된 능력을 신속하게 적군을 놀라게 하는 힘으로 구성하기 위해서는 미래 군사력의 모든 요소가 고도로 상호운용성을 필요로 한다.

- **네트워크 및 정보 아키텍처는 유연하고 적응적이며 탄력적이어야 한다.**

이것은 더 단단하고 밀도가 높다는 것을 의미하지 않는다. 대신, 미래의 아키텍처들은 항상 모든 것이 아니라 필요한 때와 장소에 특정한 군사력과 능력에 정보를 제공하여야 한다. 이 정도의 유연성에는 필요한 경우 네트워크 전반과 위협 주위에 정보를 조작할 수 있는 능력이 필요하다.

- **미래 군사력은 가상 또는 실제의 전투 감소에 견딜 수 있어야 한다.**

이는 어떤 플랫폼도 군사력의 작전 효과에 불균형적으로 부정적인 영향을 미치는 단일 실패 지점이 될 수 없음을 의미한다.

- **모든 작전 단계에서 OODA 사이클을 중단하려는 적의 시도를 극복하고 의사 결심의 우위를 제공해야 한다.**

적대적 정보 운영을 능가하고 OODA 사이클을 저하시키려는 시도를 견딜 수 있는 운영 및 정보 아키텍처는 향후 대규모 충돌에서 만연하는 데 매우 중요할 것이다. 이는 미국방부가 모듈형, 이질적인, 세분화된 플랫폼을 네트워크화하여 운영 체제를 만드는 능력을 최대한 극대화함으로써 미래 군사력의 크기를 증가시켜야 함을 의미한다[24].

4.5 Mosaic Warfare 주요 내용

모자이크전은 처리, 컴퓨팅 및 네트워킹의 발전으로 필요한 시간과 장소에서 정보를 원활하게 공유할 수 있는 능력을 기반으로 한다. 한때 전투기와 같은 공통 플랫폼에서 호스팅되어야 했던 레이더, 사격 제어 및 미사일과 같은 기능적 능력은 이제 가장 작은 실용적인 요소로 세분된다. 작전 영역의 플랫폼은 선형적이고 단일화된 킬-체인이 아닌 네트워크 킬-웹으로 기능적으로 물리적으로 분해된다. 모자이크전의 주요내용[15]은 아래와 같다.

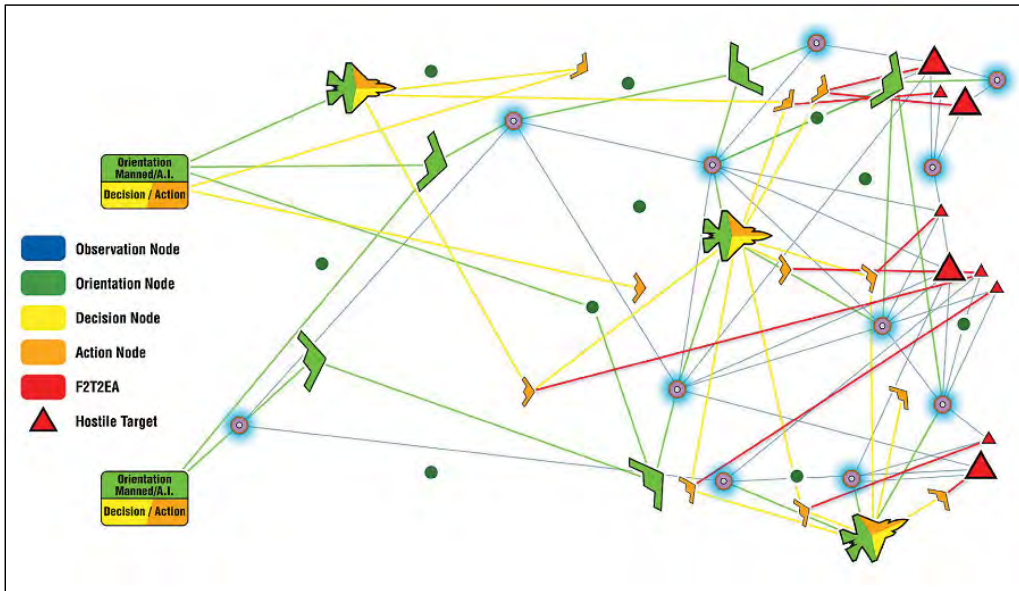
- 모자이크전은 전투 전방(Edge)에 중점.

5세대 전투기는 지향성, 결정성, 전선 전방에 있는 행동에 더 가깝게 밀어붙이는 것의 가치를 입증했다. 처리 능력, 알고리즘 및 데이터링크의 발전은 이러한 전투기를 경쟁적이고 역동적인 환경에서 매우 가치 있는 전투 관리자로 만든다. 과거 연구에 따르면 판단은 이러한 식별을 필터링, 상관관계 및 의미 또는 판단으로 융합할 수 있는 처리 능력이 있는 곳에 위치해야 한다. 판단 노드와 의사 결심 노드가 모두 타격 지점에 가까울수록 결과는 더 빠르고 더 효과적이다.

- 모자이크전의 세분화된 요소 또는 노드는 OODA 루프 구조를 기반.

식별 노드, 판단 노드, 결심 노드 및 타격 노드가 있다. OODA 루프 전반에 걸친 기능은 고급 데이터링크에 의해 활성화된다. 식별 노드는 상호 협력하여 서로를 교차 탐지하고 판단 노드에 다중 현상 식별을 제공하며, 작전 영역의 모습을 생성한다. 이러한 판단을 기반으로 결심 노드는 여러 개의 동시 킬 경로를 활성화하여 지정된 대상에 원하는 효과를 생성한다. 이러한 킬 경로는 효과가 달성될 때까지 활성 상태를 유지할 수 있으며, 임무가 완료되면 지정된 타격 노드는 대체 목표에 유연해진다.

모자이크 군사력 개념의 판단 및 결심 노드는 작동 영역 전체에 걸쳐 계층화되지만, 가장 활동적인 노드는 전방 에지에 있다. 전투영역의 최전방 가까이 적절한 처리 능력을 가진 판단 및 C2 기능을 위치하면 타격의 속도와 정확성을 높일 수 있다.



〈그림 24〉 모자이크전 작전체계와 OODA Loop

- 모자이크전과 기능 분해.

기능 분해는 원소가 함께 작동하는 방식을 조명하기 위해 실제 기능 및 기술적 부분으로 연산을 축소하는 방법론이다. 또한, 방법과 수단 간의 관계를 명확히 하고 효과적인 전투 운영을 위해 미래의 정보 아키텍처를 구성하는 방법에 대한 통찰력을 제공한다. 전투 작전의 기능적 분해 분석은 모자이크 전쟁을 시스템 접근법과 차별화하는 것이다. 고급 데이터링크 이전에 여러 기능을 단일 플랫폼에서 집계해야 센서 및 시스템 간에 정보를 가장 잘 활용할 수 있다. 예를 들어, 레이더, 타격 제어 컴퓨터, 공대공 미사일은 위협을 탐지하고, 접촉 정보를 파악한 다음, 그 데이터를 미사일이 목표물을 추적하고 유도하는 데 사용할 수 있는 정보로 변환하기 위해 모두 하나의 전투기에 통합된다. Mosaic은 기능적인 OODA 노드를 상호운용성, 호환성이 있으며 거의 호환이 가능하도록 만들려고 한다.

- 전투력의 복원력 증가.

네트워크를 통해 다수의 중복 기능 노드를 생성하면 정보 흐름과 킬 경로의 복원력도 크게 향상된다. 모자이크전은 정보 경로를 강화하는 대신, 설계에 의해 정보와 정보 경로 감소를 탄력적으로 흡수할 수 있는 네트워크 아키텍처의 유형을 제안한다. 작전 지역에서 전투 손실이 발생하더라도 모자이크 킬-웹은 탄력적인 다중 축 감지, 기동 부대

네트워크 및 최전방에서의 정보공유 및 처리로 뒷받침되는 효과를 생성하는 능력으로 인해 상당한 이점을 제공한다. 이 개념에는 중요한 노드, 주요 고-부가가치 공중 자산 또는 분실 시 임무 실패를 초래할 필수 플랫폼이 없다. 이러한 세분화 및 최전방 처리는 전투력이 더 이상 상위 본부 또는 기타 임무 군사력 구조 요소와 연결되지 않는 경우에도 작전이 계속 효과적이 되도록 보장할 것이다.

• **인공지능(AI)/기계 학습(ML) 활용.**

모자이크 군사력 설계는 긴밀하게 결합되고 교차 연결되며 분산되지만, 선형의 킬-체인을 넘어 여러 효과 제공자가 있는 동시 다중 경로 킬-웹을 생성한다. 많은 킬 경로를 동시에 실행할 경우 모자이크 구성을 조정해야 한다. 명령과 제어는 모듈화, 계층화 및 모자이크 군사력의 계층 간에 추상화된다. 그것은 지난 30년 동안 그랬던 것처럼 중앙 집중화될 수 없다. 결심 노드를 전투 구역의 전방에 배치하는 것이 탄력적인 힘을 만드는 데 핵심이 될 것이다. 적이 전투 구역의 일부 영역에서 작동하는 모자이크 군사력의 요소를 분리하려고 할 경우, 모자이크 군사력의 판단 노드와 권한이 부여된 결심 노드는 명령 의도에 따라 작전을 계속하도록 보장한다.

작전 지역에서 타격 속도를 높일 필요가 있다는 판단은 AI/ML 시스템 또는 AI/ML이 인간 관리자에게 의사결심 보조를 제공함으로써 달성한다. 모자이크 작전개념에서도 인간이 지속적으로 중요한 역할을 해야 하는 것은 자명하다. 인간은 창의력과 창의력을 발휘하여 예측할 수 없는 행동을 완수하고 적들이 훨씬 해결하기 어려운 작전 문제를 만들어내면서 전쟁의 기술을 전투 지역에서 실행한다.

미국의 현재 전쟁 방식은 시스템 전쟁전략과 성공적으로 경쟁할 수 없을 것이며 다른 군사적 임무의 범위에 걸쳐 적절히 확장될 수 없다. 모자이크는 규모적으로 매우 유능한 시스템의 특성과 다양한 구성 또는 제시로 재배열할 수 있는 작은 힘 요소에 의해 제공되는 민첩성을 결합한 군사력 설계이다. 모자이크 군사력은 더 작고 더 많은 수의 세분화된 요소를 산출하기 위해 중요하고 매우 유능한 시스템에 대한 현재의 투자를 기반으로 한다. 모자이크 예술작품의 작고 조각난 색 타일과 유사하게, 이러한 세분화된 요소들은 고도로 성능이 뛰어난 시스템 플랫폼과 협력하여 일관성 있는 작전 체제를 만들기 위해 함께 네트워크를 형성한다.

• **목적달성을 위한 수단과 방법의 적응적 연결.**

정보 시대 시스템 전쟁에 기반을 둔 모자이크는 네트워크와 데이터링크를 활용하여 동적이고, 세분화된 시스템 간에 정보를 소통한다. 모자이크 군사력 구조의 세분화된 특

성 때문에, 다른 조각들이 통합되고 작전의 필요에 맞게 특별히 조정될 수 있다. 모자이크는 상위 전쟁에서부터 외부적 타격, 인도주의적 대응 또는 장기간 저항도 충돌에 이르기까지 군사작전의 스펙트럼에 걸쳐 적용되고 확장할 수 있다.

모자이크 자산은 이러한 플랫폼에 맞게 유기적으로 관리되며 매우 역동적인 전투 환경에서 군 병력의 요구를 충족하도록 빠르게 조정될 수 있다. 원하는 효과를 달성하기 위해 가능한 많은 결정적 경로를 만들기 위해 전역의 최전방에 다중 및 동시 방법과 수단을 연속적으로 구성하고 사용할 수 있게 한다. 모자이크 군사력 설계는 계획 주기를 크게 단축하고 지휘관들에게 전략 목표를 달성하기 위한 보다 창의적이고 놀라운 방법과 수단을 제공할 수 있다. 이것은 또한 적의 작전 계획을 방해하고 불확실성을 유발한다.

- 모자이크 설계를 통해 취약점 감소.

시스템 전쟁전략[24]은 시스템의 효과를 붕괴시키기 위해 데이터링크와 그 노드를 목표로 한다. 실제 모자이크 군사력에서는 적들이 집중할 수 있는 단일 장애 지점, 단일 데이터링크, 범용 표준, 단일 통신유형이 없다. 모자이크 군사력 설계의 핵심은 작전 영역에서 생성할 수 있는 노드의 양과 구성이다. 세분화된 요소들은 시스템 복원력에 기여하는데, 그 이유는 그 손실은 오직 하나의 기능만 상실하는 것이지, 높은 능력의 전통적인 플랫폼의 많은 기능을 상실하지 않기 때문이다. 네트워크로 연결된 세분화된 요소들은 미군에게 큰 가치를 창출할 수 있다. 단일 노드 또는 소규모 노드 집합의 손실이 전체 시스템을 붕괴시키지 않기 때문에 손실이 발생하더라도 더 큰 시스템 기능은 계속된다. 세분화는 또한 잠재적인 킬 경로의 수를 확장하여 상대에게 공격 난제를 야기한다.

- 획득 속도 향상 및 적의 예측 가능성 감소.

모자이크 군사력 설계는 새로운 기능의 개발과 전력화를 가속화하는 데 도움이 될 수 있다. 새로운 기술을 개발하고 실용화하는 데 필요한 시간과 비용은 실제 전투만큼이나 장기적인 적과의 경쟁에 중요하다. 고도로 복잡한 시스템의 통합은 미국방부의 획득 프로그램에 많은 시간과 비용이 소요된다. 공유 플랫폼에서든 아키텍처에서 네트워크에서 모듈식으로 결합될 수 있는 세분화된 요소를 획득하는 방식으로 전환하면 통합 과제, 테스트 요구사항 및 SWAP-C 요구사항을 줄일 수 있다. 미국방부의 현재 획득 시스템의 관료적 난맥상을 줄어든게 하고, 보다 강력한 방위 산업 기반을 조성하는데 도움이 될 수 있다.

이 모든 것은 새로운 기술의 개발 및 전력화를 가속화하는 것으로 직결되며, 이는 적들이 따라올 수 없는 비용일 수 있다. 현재의 군사력을 세분화된 능력의 시스템으로 점진적으로 이전하는 것은 획득 개혁에 대한 미국방부의 많은 이전의 시도가 추구했던 목표를 궁극적으로 달성할 수 있는 접근법이다.

모자이크 군사력 설계의 전략적, 작전적, 기술적 이점은 그것을 만들고 유지하는 과제를 훨씬 능가한다. 현재 미군의 군사력 설계와 비교해 모자이크 군사력은 중국 및 다른 적들과의 시스템 대치 상황을 더 잘 견뎌낼 수 있을 것이다. 적응력 있고 예측할 수 없는 탄력적인 군사력의 구성을 만들어내는 능력은 적들에게 당혹스러운 문제를 일으킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 모자이크의 세분화 및 네트워크 특성은 과도한 기능이나 용량을 낭비하지 않고 저급 분쟁으로도 확장 가능성을 의미한다. 모자이크 군사력 설계는 전쟁의 모든 규모에서 미군 OODA 루프에 속도를 회복할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

V. 결론 (Army Tiger 4.0 발전을 위한 제언)

앞에서 미군이 추진하고 있는 모자이크전 전략이나 프랑스의 스킨피온 계획 등을 살펴보면, 우리나라가 어떻게 무엇을 준비해야 하는지를 잘 설명해 주고 있다. 미군의 모자이크전은 요구사항 및 획득 프로세스, 작전개념, 전술, 기술 및 절차의 작성, 전투 작전 외에 프레젠테이션 및 병력 할당 조치를 포함하는 시스템 전쟁을 위한 포괄적인 내용을 담고 있고, 프랑스의 스킨피온 계획은 프랑스 육군의 통합된 현대화 프로그램으로 두 플랫폼(VBMR 및 EBRC)의 중앙접촉 전투능력과 전투정보시스템(SICS)을 최신화하는 것을 목표로 하는 매우 세부적이고 구체적인 프로그램이다. 최신 기술을 통해 다양한 시스템의 네트워크를 구축하여 전술적 군사 효과를 얻으려고 하고 있다.

이들을 바탕으로 향후 우리 군에게 요구되는 몇 가지 제언을 한다.

첫째는 국방부 또는 합참 차원의 우리나라 군 운영 및 설계의 개념이나 전략의 수립이다. 이를 위하여 과연 우리 국방부, 육군, 해군, 공군은 어떠한 개념과 전략을 바탕으로 군사력을 설계 및 운영하는지 명확한 개념 및 이론의 정립이 가장 먼저 우선되어야 한다. 현재 육군에서 추진하는 Army Tiger 4.0 계획도 국방부나 합참 차원에서의 전체적인 군 구조 및 군사력 설계의 전략이나 계획과 병행하여 추진되었다면 좀더 의미가 있을 것으로 판단된다.

둘째는 각 군의 명확한 임무와 기능의 분석 및 정립이다. 첫 번째 전략을 구현하기 위한 각 군의 임무와 임무달성을 위해 필요한 세부 기능의 분석과 판단이 필요하다. 이러한 분야

의 계획으로 육군의 Army Tiger 4.0 계획이 추진되면 더욱 내용면에서 더욱 체계적인 모습이 될 것이다.

셋째는 각 군은 임무달성에 필요한 세부기능을 수행할 수 있는 최소의 단위부대를 판단한다. 미군의 모자이크전 전략과 같이 이들의 규모는 현재의 부대 3~4각 편제 개념을 벗어난 독립 단위 임무형 부대로 구성되어야 한다. 지금처럼 여러 가지 임무 및 기능이 통합된 부대 편성 개념이 아닌 예를 들어 산악전투형, 도심작전형, 대테러작전형, 종심작전형, 경계임무형 등등 대대급 규모의 전문적인 기능별 부대를 편성하여, 특별한 임무가 판단시 부대를 조합하여 운영할 수 있는 체계로 부대를 구성하여 운영한다.

마지막 넷째는 이들에 대한 체계적이고 세부적인 통제 및 관리/운영체계의 구축이다. 현재 우리군은 NCW 개념하에서 부대를 운영하고 있다. 그런데 한 가지 의문은 과연 현재 우리의 지휘자 또는 지휘관들은 자신이 지휘하고 있는 부대의 실시간 전투력을 파악하고 확신할 수 있는가? 그 전투력은 무엇을 근거로 판단된 자료인가? 병사 한명 한명, 부대의 편제 장비 및 무기의 현재 능력에 대한 정확한 실시간 자료의 구축이 되어 있는지? 이들에 대한 실시간 명확한 자료의 제공이 없이는 현재의 실시간 전투력 파악은 많은 제한을 받거나 부정확한 자료가 될 것이다.

따라서 향후 구축되는 모든 개인장비 및 편제 장비와 무기체계는 실시간 정보를 파악할 수 있는 실시간 데이터 구축이 가능하도록 추진되어야 하고, 이들 데이터를 기반으로 네트워크화, 지능(AI)화, 모듈화/시스템화되도록 추진하면 한층 발전된 육군 그리고 군대의 모습이 될 것으로 믿어 의심치 않는다.

〈참고 문헌〉

‘첨단과학기술 구현된 지상전투체계 ‘아미타이거’, 미래 육군 4세대 전투력 포효한다.’, 국방일보, 2021.04.15.

육군본부, ‘첨단과학기술군 구현, 미래 육군의 혁신 구상 Army TIGER 4.0’, 2020. 12.
‘Le programme Scorpion’, Ministry of the French Armed Forces. October 24, 2017.

https://en.wikipedia.org/wiki/VBMR_Griffon

https://en.wikipedia.org/wiki/EBRC_Jaguar

https://en.wikipedia.org/wiki/Leclerc_tank

https://en.wikipedia.org/wiki/VC3A9hicule_BlindC3A9_LC3A9ger

MND-AF 국방아키텍처 프레임워크

5세대 이동통신, 위키백과 [2021.09.09. 검색]

U.S. Department of Defense, *Summary of the 2018 National Defense Strategy of The United States of America* (Washington, DC: DOD, 2018)

Christopher M. Dougherty, *Why America Needs a New Way of War* (Washington, DC: Center for a New American Security, 2019),

Christian Brose, “The New Revolution in Military Affairs: War’s Sci-Fi Future,” *Foreign Affairs*, 98, no. 3, 2019)

Andrew Krepinevich, Barry Watts, and Robert Work, *Meeting the Anti-Access and Area-Denial Challenge* (Washington, DC: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2003)

Moshe Schwartz, *Defense Acquisitions: How DOD Acquires Weapon Systems and Recent Efforts to Reform the Process*, CRS Report No. RL34026 (Washington, DC: Congressional Research Service, 2014)

David A. Deptula, Heather R. Penney, Lawrence A. Stutzriem, Mark A. Gunzinger, “Restoring the Power Projection Capabilities of the U.S. Armed Forces.”. Mitchell Institute for Aerospace Studies Air Force Association, September 2019.

OSD, *Strategy for Operations in the Information Environment* (Washington, DC:

- DoD, 2016)
- Zachary Keck, “A Tale of Two Offset Strategies,” *The Diplomat*, November 18, 2014.
- Deptula, *Effects-Based Operations: Change in the Nature of Warfare* (Arlington, VA: Aerospace Education Foundation, 2001)
- Richard P. Hallion, *Storm Over Iraq: Air Power and the Gulf War* (Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1992).
- Dougherty, *Implementing the National Defense Strategy Demands Operational Concepts for Defeating Chinese and Russian Aggression* (Washington, DC: Center for a New American Security, 2019)
- Deptula and Birkey, “The Force We Need: Key Factors for Shaping the Air Force for the Future,” *Mitchell Institute Policy Papers*, 19 (Arlington, VA: Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2019)
- Eric J. Mehrtens, “Tackling Tomorrow’s High-Value Airborne Assets Anti-Access/Area-Denial Problem--Part One,” *Over The Horizon Journal*, July 8, 2019.
- “Mosaic Workshop: A Future Force Design,” Mitchell Institute for Aerospace Studies, July 17, 2019.
- Deptula, “Evolving Technologies and Warfare in the 21st Century: Introducing the Combat Cloud,” *Mitchell Institute Policy Papers*, 4 (Arlington, VA: Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2016)

