

# 군사과학정책연구

Military Science & Technology Annual Report

## 연구논문

- 모자이크전의 승전요소 분석: 황현호
- 첨단 무기체계의 비용분석 기법 발전방안: 이용복
- 북한 우주개발 기술현황 조사: 강동수



국 방 대 학 교  
국가안전보장문제연구소



ISSN 1976-5967

제15권

2022년 12월

# 군사과학기술정책연구

Military Science & Technology Annual Report

국방대학교 국가안전보장문제연구소



## 목 차

---

모자이크전의 승전요소 분석 황현호	1
첨단 무기체계의 비용분석 기법 발전방안 이용복	59
북한 우주개발 기술현황 조사 강동수	107

---



연구보고 2022

---

# 모자이크전의 승전요소 분석

황현호

2022. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	7
1. 개요 .....	11
1.1 모자이크전 등장배경과 원인 .....	11
1.2 모자이크전 특징과 수행방법 .....	20
1.3 현용 군사력 운용의 한계점 .....	29
2. 전쟁의 승전요소에 관한 분석 .....	35
2.1 임무변수(METT-TC)에 의한 분석 .....	35
2.2 전장 6대 기능중심의 분석 .....	38
2.3 삼위일체 이론에 입각한 분석 .....	45
3. 정책 제언 및 기대효과 .....	51
3.1 모자이크전 적용을 위한 정책 제언 .....	51
3.2 기대효과 .....	55
참고문헌 .....	57

## 그림목차

〈그림 1-1〉 중국의 A2/AD범위 .....	13
〈그림 1-2〉 현 작전개념 적용(예시) .....	16
〈그림 1-3〉 모자이크 전쟁 적용(예시) .....	16
〈그림 1-4〉 모자이크전의 개념도 .....	20
〈그림 1-5〉 적응형 킬 웹을 적용한 한국형 모자이크전 .....	20
〈그림 1-6〉 군사적 툴 킷(Tool Kit 1~2) .....	22
〈그림 1-7〉 현 작전개념과 모자이크전 비교(예시) .....	23
〈그림 1-8〉 감시-결심-대응의 진화적 발전 .....	24
〈그림 1-9〉 상황 중심 C3 체계 .....	26
〈그림 1-10〉 인공지능기술과 작전수행 .....	27
〈그림 1-11〉 워게임에 의한 영역별 해결능력 .....	28
〈그림 1-12〉 기존 전투방식과 모자이크 전쟁 비교(전력 소모율) .....	29
〈그림 1-13〉 기존 전투방식과 모자이크 전쟁 비교(복잡성, 속도) .....	29
〈그림 1-14〉 다영역작전 수행 개념 .....	31
〈그림 1-15〉 Kill Chain에서 Kill Web로의 전환 .....	31
〈그림 1-16〉 교차 전장 영역 .....	34
〈그림 2-1〉 임무변수 구성요소 .....	38
〈그림 2-2〉 전장 6대 기능 .....	39
〈그림 2-3〉 스마트 먼지(Smart Dust) .....	39
〈그림 2-4〉 IFF에 의한 피아 자동식별 .....	41
〈그림 2-5〉 RFID 적용 신형 동계 함상복 형상 .....	42
〈그림 2-6〉 클라우드비츠의 삼위일체 .....	46

## 표 목 차

〈표 1-1〉 기관별 모자이크전 정의 .....	17
〈표 1-2〉 비유를 통한 모자이크전의 개념 접근 .....	31



## 요 약 문

### 1. 개요

#### 1.1 모자이크전의 등장배경

4차 산업혁명은 군사 과학기술의 비약적인 발전을 야기시켰으며, 이로 인하여 모자이크전 탄생에 그 배경에 있다. 하지만 군사 과학기술의 발전만으로 모자이크전의 등장 배경을 모두 설명해 주는 것은 아니다. 등장배경을 3가지로 구분하여 설명하면 아래와 같다.

첫 번째, 국가별 군사 무기체계 발전 및 경쟁으로 미국의 제 1군사력은 기존에 미국이 누리던 전 세계적 군사적 우위가 더 이상 완전하지 못하다고 판단하고 있기 때문이다.

두 번째, 국가의 군사력 건설 및 발전에서 발견되는 문제점들을 모자이크전을 통해 해소하기 위함이다.

세 번째, 미국의 군사 과학기술 및 인권 중심이 전쟁 수행방식의 특성이 모자이크전이 등장했다. 미국은 타국과 대비하여 노동 집약적(병력)이기보다는 과학기술이 접목된 자본 집약적 전쟁을 선호하기 때문이다.

#### 1.2 모자이크전의 등장 원인

미군의 군사 무기체계는 중국의 A2/AD를 극복할 수 있도록 작전개념을 현재와 같이 발전 및 유지했다. 이를 보완 발전시키기 위하여 모자이크전이라는 개념이 등장했다. 즉, 미군은 모자이크전이라는 개념을 통해 방어적 개념이 아니라 피해를 감수하더라도 중국의 턱밑까지 진격하여 군사적 우위를 확보하겠다는 공세적인 의지가 반영된 것이다.

### 1.3 모자이크전의 개념 및 특성

모자이크전에서는 기존의 군사 무기체계를 포함하여 작은 단위의 규모로 분산된 전력을 유연하게 결합하고, 지휘관에게 다양한 대안을 제공함으로써 아군의 적응능력(Adaptability)을 향상시키고, 적에게는 대응방안을 복잡하게 부과함으로써 의사결정을 지연시킬 것을 강조한다. 그리고 킬 체인(Kill Chain)에서 킬 웹(Kill Web)으로의 전환이다. 기존 네트워크 중심의 킬 체인은 킬 웹과 비교 시 정적인 방식으로 구분할 수 있는데, 이는 적이 이미 해당 작전개념을 인지하고 무력화하기 위한 방안 및 능력을 갖추고 있기에 하나의 연결고리가 끊어질 경우, 전체 전투력에 영향이 크다고 볼 수 있다. 따라서 동적인 킬 웹을 제공하여 높은 수준의 복잡성 및 전략적 기동을 통해 작전효과를 향상 시킨다는 것이다. 더불어, 인간(사람) 중심의 지휘통제에서 기계통제로의 변화이다. 모자이크전에서는 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 등의 기술을 활용하여 적보다 신속하고 효과적인 의사결정을 지원하는 기계적 능력을 강조한다. 결과적으로 작은 규모의 분산된 전력의 구성 및 재구성 그리고 킬 웹을 확보하기 위해서는 인공지능과 같은 기계의 능력을 활용해야만 구현이 가능한 개념이라고 볼 수 있다.

## 2, 모자이크전의 승전요소

### 2.1 임무변수에 따른 승전요소

- 임무 : 상급 지휘관이 부여한 임무, 상급 지휘관의 의도, 상급 부대의 작전 목표, 상급부대 작전 최종 상황, 운영 목표에서 파생된 과업
- 적 : 부대 구조, 병력 배치, 적 사령관의 의도, 현재 적의 과업, 적의 예상 계획, 적의 전투력 수준, 물류 공급 수준
- 지형 및 기상 : 기계화 부대의 진입로, 보병 또는 침투 부대의 진입로, 기온 / 비 / 눈 / 안개, 중요한 지형 특징, 자연 및 인공 장애물
- 가용한 부대 및 자원 : 부대 구조, 전투력 수준, 예하 부대, 무기체계 수준(탄약 포함), 동원 및 지원 가능 부대(기계화 부대 포함)

- 가용시간 : 작전 준비 및 수행시간, 상급부대로 하달받은 작전 시간, 지원 및 보강부대의 도착 시간
- 민간요소 : 작전지역내 민간인 성향, 민간 운영영역의 안정성(행정, 시설, 토목 등), 우호적 여론 및 적대민의 규모, 민간인 지원 수준(행정, 보안, 자재 등), 운영에 제한되는 시설

## 2.2 전장 6대 기능에 따른 승전요소

- 정보기능 : 전장 가시화 능력 강화, 위험지역 정보활동, 조기 경보시스템 유지보수, 위험 감수
- 기동기능 : 전장 상황 변화, 반격 능력, 작전영역 확장, 정찰 및 순찰, 장애물 감지 / 제거 / 차단
- 화력기능 : 위협이 높은 전략적 목표물에 대한 공격, 복합 타격 시스템 구축, 화력 감소, 화력 지원
- 방호기능 : NBC 정찰 및 해독, 지뢰 탐색 및 제거, 적 공격 상황 공유, 경계 병력 감소
- 전투근무지원기능 : 소부대 전투근무지원, 환자 후송, 유지보수 및 지원
- 지휘통제기능 : 전장 정보 실시간 파악, 지휘 및 판단력, 명령과 통제의 연속성 보장, 지휘통제 전투원 지원

## 2.3 삼위일체 이론에 따른 승전요소

- 감성(국민) : 전쟁에 대한 국민의 지지 방향, 공격자에 대한 증오 및 적개심, 정치와 군사지도부에 대한 국민의 인식, 지지 및 지원 세력, 국민이 생각하는 전쟁과 안보의식, 안전한 사회를 만들기 위한 노력, 전쟁에 대한 조직 간 공조의 노력
- 우연성(군대) : 국가이익(정치적 목적)에 부합한 전쟁 목적 및 목표, 전쟁 수행을 위한 군사동맹, 전장에서 발생하는 불확실성 극복 및 이용, 예측을 불허하는 변화무쌍한 용병술, 사이버공간 전쟁을 전략·전술적 관점 고려, 군사 리

더십

- 이성(정부) : 전쟁 공간이 따른 정부·군대·국민에 미치는 영향, 정치 목적과 전쟁 명분의 정당성, 정치 목적을 구현할 수 있는 정책과 전략, 전쟁지도 능력, 주변국과 공조 및 협력, 전쟁을 지속할 수 있는 정치적 의지, 사이버공간 전쟁 공격주체 식별 노력, 전쟁의 적대의도 파악 노력, 국민에 대한 정부의 전쟁 인식 교육

### 3. 모자이크전의 기대효과

모자이크전은 다영역·다차원 작전에서 개별 플랫폼들을 분산 및 적응형 킬 웹을 기반하여 아군의 전투력을 신속하고 유연하게 구조 및 재구조화 하여 전투원의 생존성을 극대화 시킬 수 있는 하나의 방안으로 기대된다. 한국군 역시 한국형 모자이크전에 대하여 장점은 충분히 적용하고, 단점은 보완 및 발전시켜야 할 것이다.

# 1. 개요

## 1.1 모자이크전 등장배경과 원인

### 1.1.1 모자이크전 등장배경<sup>1)2)</sup>

4차 산업혁명은 군사 과학기술의 비약적인 발전을 야기시켰으며, 이로 인하여 모자이크전 탄생에 그 배경에 있다. 하지만 군사 과학기술의 발전만으로 모자이크전의 등장 배경을 모두 설명해 주는 것은 아니다. 국가간 경쟁과 시대적 흐름속에서 국가의 안보 및 국방전략의 변화에 맥락이 미국의 전략과 연계하여 보아야 한다. 구체적으로는 아래와 같이 세가지로 구분하여 제시한다.

첫 번째, 국가별 군사 무기체계 발전 및 경쟁으로 미국의 제 1군사력은 기존에 미국이 누리던 전 세계적 군사적 우위가 더 이상 완전하지 못하다고 판단하고 있다. 특히 중국의 공산 군사력 강화는 미국과 더불어 미국의 동맹국에게 위기감을 고조시킴으로써 모자이크전이 등장했다. 위기감은 결과적으로 과거부터 현재까지 군사 무기체계 개발에 투입된 천문학적인 비용과 시간 그리고 노력이 다소 회의적인 시각이 받아 들여 졌다. 즉, 더 많은 국방 비용을 요구하는 고도화된 군사 과학기술로 미국이 기존 전 세계적 군사적 우위를 달성할 수 없다고 판단했고, 무기체계 개발이 이전의 개발과정 및 단계가 더욱 복잡해지고 있는 복합적인 과정 속에서 현 상황을 해결하고자 모자이크전이 등장한 것이다. 또한 기존 무기체계의 고성능 전력의 특성으로 복잡성을 상승 시킴으로써 무기체계간 상호운용성 해소, 전술 및 전략의 유연성을 확보, 대응하여 전력을 재조합하고 적을 효과적으로 제압 하겠다는 개념이다.

두 번째, 국가의 군사력 건설 및 발전에서 발견되는 문제점들을 모자이크전을 통해 해소하기 위함이다. 즉, 모자이크전이 목표 및 추구하는 미래전의 개념은 고도화된 신 무기체계를 개발하기보다는 현재 보유하고 있는 전력을 최대한 활용함으로써 군사 과학기술에 요구되는 막대한 국방예산을 절감하고, 군사 무기체계 간 연결성을 증대시킴으로써 상호운용성을 극대화하여 미군이 직면하고 있는 어려움

1) 미래전을 대비한, 한국군 발전방향 제언(미국의 모자이크전 수행개념 고찰을 통하여), 해양안보, 장진호 외 1명, 2020. 참고

2) 모자이크전 개념과 시사점, 국방논단, 박지훈 외 1명, 2020. 참고

들을 해소하기 위함이다.

세 번째, 미국의 군사 과학기술 및 인권 중심이 전쟁 수행방식의 특성이 모자이크전의 등장에 일조했다. 미국은 타국과 대비하여 노동 집약적(병력)이기보다는 과학기술이 접목된 자본 집약적 전쟁을 선호해 왔다. 과거 미국이 건국할 당시 중세 시대의 종교 중심의 유럽 국가들이 갖고 있는 여러 문제점을 과학기술로 극복한 경험이 현재의 전쟁 수행방식에 적용되었다고 볼 수 있다. 그렇기 때문에 과학기술 중심의 미국문화는 실용주의라는 미국식 가치관이 현재의 미국을 있게 한 핵심 요소라고도 할 수 있다. 이러한 과학기술 중시하는 문화는 미국을 인류 역사에 있어 가장 첨단인 현대 무기를 보유한 최대 군사 강대국으로 발전시키기도 하였다.



Photo-illustration: Defense Dept., iStock

### 1.1.2 모자이크전 등장 원인

첫 번째, 중국의 반접근 및 지역거부(Anti-Access Areal Denial, A2/AD)에 대하여 미군의 군사력은 완전한 방호가 제한될 소지가 있다. 만약, A2/AD에 대하여 미군이 충분히 상황을 극복 가능하다고 판단했다면, 더 정교하고 세밀한 감시·추적·요격체계 및 기만 수단을 개발함에 막대한 예산을 투입하지 않았을 것이다. 즉, 미군의 군사 무기체계는 A2/AD를 극복할 수 있도록 작전개념을 현재와 같이 발전



〈그림 1-1〉 중국의 A2/AD범위

(출처: 국가안보전략연구원)

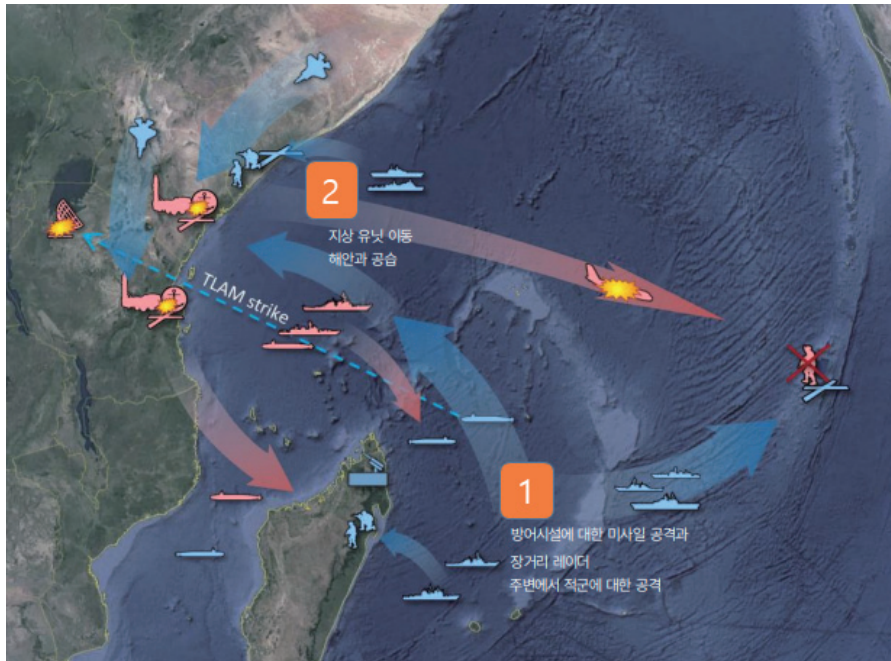
및 유지했다. 그러나 미군의 현실은 함재기가 중국 본토에 닿을 수 있는 위치가 아닌 A2/AD 사정권 외곽, 1도련선 뒤에 항모를 배치한다는 개념이다.

또한, 최근 중국과 러시아가 개발하고 있는 극초음속 무기체계에 대한 이슈 속에서 러시아는 우크라이나와의 전쟁을 통해 실사용을 하고 있다. 이와 같이 극초음속 무기가 가시화된 상황에서 미군의 핵심전력인 항공모함은 완전한 방호가 극히 제한될 것이다. 결과적으로 미군은 일부 전력이 피격당하더라도 그 외 전투력을 유지한 가운데 작전과 전쟁이 승리 할 수 있도록 모자이크전이라는 개념을 등장시킨 원인이라 할 수 있다.

두 번째, 미국은 전 세계에서 제1군사력을 유지하여 다른 나라의 영토와 영공에서 완전한 군사적 우위를 목표로한다. 이를 위해 기존“공세적 방위(offensive defense)”개념을 적용하고 있지만, 작전 수행 간 발생 되는 여러 문제를 최대한 극복하고자 최근에는“방어적 방위(defensive defense)”를 주장하는 의견도 있다. 중국의 A2/AD는 본토와 인공섬의 해안선을 따라 위치하고 있어, 중국은 짧은 보급선, 지형적 엄폐, 신속한 전투력복원, 국제 여론조성, 명분 등 여러 방어적 이점

을 갖고 있다. 더불어 중국은 막강한 경제 규모와 약 14억이라는 인구, 현존하는 최강의 무기인 핵무기를 보유, 지리적 방어적 이점까지 갖추었기 때문에 미군의 압도적으로 군사적 우위를 위해서는 막대한 국방비 지출을 정당화하는 것에 대하여 실현 가능성에 대하여 회의적인 시각도 있다. 하지만 미군은 모자이크전이라는 개념을 통해 방어적 개념이 아니라 피해를 감수하더라도 중국의 턱밑까지 진격하여 군사적 우위를 확보하겠다는 공세적인 의지가 반영된 것이다.

현재 미군의 전쟁 플랫폼이 적으로부터 타격을 받는다면, 그 타격에 의한 공백을 지원하기 위한 부대간 전투력 보강 및 시간 소요는 미군의 전체 전투력 발휘를 제한시킬 수 있다. 즉, 타격을 받은 플랫폼은 각 구성 요소인 감시장비, 무장, 추진체계 등이 복잡하게 얽혀 있기에, 단 1기의 유도탄만으로도 완전한 파괴는 아니더라도, 100% 전투력 발휘가 불가능한 상태에 빠질 수 있다. 특히, 함정은 많은 승조원과 각종 첨단 무기체계를 탑재한 장비로 적의 타격에 의한 경미한 손상에도 제대로 된 전투력을 발휘할 수 없다면, 작전 수행이 불가능한 것 뿐만 아니라 이어지는 상대의 재타격에 더욱 취약해짐과 동시에 생존성을 보장받을 수 없다는 의미이다. 이를 타개하고자 미군은 모자이크전을 통해 손실을 빠르게 회복할 수 있도록 하고, 완벽한 전쟁의 승리를 위해 필요시 소모전도 감수할 수 있도록 한 것이다. 따라서 모자이크전을 통해 피해를 최소화한다는 개념보다 피해를 입더라도 빠른 전투력의 회복을 바탕으로 소모전에 임할 수 있다는 점이 등장배경이다.



<그림 1-2> 현 작전개념 적용(예시)

(출처: CSBA)



<그림 1-3> 모자이크 전쟁 적용(예시)

(출처: CSBA)

### 1.1.3 모자이크전의 주요 개념<sup>3)4)</sup>

모자이크전이라는 용어는 2018년 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)의 60주년 컨퍼런스를 전·후로 이곳에서 중심 역할을 담당하는 6개의 부서 중 하나인 전략기술실(Strategic Technology Office, STO)에서 공개되었다. 모자이크전이라는 용어는 새롭게 등장했지만 앞서 살펴봤듯이 강대국간의 경쟁과 국방혁신구상 등과 연계하여 다양한 군사 과학기술의 개발과정에서 식별된 전쟁수행 방식을 새롭게 표현한 것이다. 현재 DARPA에서는 모자이크전 개념을 구현하기 위해 다양한 분야의 기초연구와 응용연구를 수행해오고 있고, 최근에는 모자이크전 개념의 발전과 기존 전쟁수행 방식과의 비교 연구를 위하여 민간 연구기관에 프로젝트를 수행하도록 하고 있다. 이를 통해 모자이크전의 개념에 대하여 지속적인 논의가 진행되고 있고 아직 공식적으로 확정된 것은 없지만, DARPA의 발표자료와 개념연구 보고서를 비롯해 공개된 기사나 인터뷰를 통해 그 모습을 들여다 볼 수 있다. 모자이크전의 개념은 아래 표에서 보는 것처럼 여러 기관에서 정의하고 있다. CSBA(Center for Strategic and Burgetary Analysis)의 보고서에서 인간지휘(Human command)-기계통제(Machine Control)를 활용하여 신속히 전투력을 구성 및 재구성이 가능하고, 기존 대비 분산된 전력(Disaggregated Force)으로 미군 전투력에 유연성(Flexibility)과 적응성(Adaptability)을 주는 반면에 적에게는 불확실성(Uncertainty)과 복잡성(Complexity)을 증대시키는 전쟁수행 개념이 가장 대표적으로 설명 및 정의이다.

#### 〈CSBA(Center for Strategic and Burgetary Analysis) 설명〉

미국의 싱크탱크인 전략·예산평가센터(CSBA)는 미래의 국제 경쟁과 분쟁을 이해하기 위한 세계 최고의 센터이다. 임무는 혁신적이고 자원에 기반한 국방 개념을 개발하고 공개 토론을 촉진하며 미국과 동맹국의 이익을 증진하기 위한 행동하는 것이다. 비전은 국방의 미래에 대한 토론의 조건을 설정하고 개념 개발, 전력 구조 및 자원의 변화를 주도하여 강대국 경쟁과 갈등으로 특징지어지는 시대에서 미국과 동맹국이 경쟁하고 승리할 수 있도록 준비하는 것이다.

3) 모자이크전 개념과 시사점, 국방논단, 박지훈 외 1명, 2020. 참고

4) Mosaic\_Warfare, CSBA, BRYAN CLARK, DAN PATT, HARRISON SCHRAMM, 2020 참고

### 〈CSBA(Center for Strategic and Burgetary Analysis)의 모자이크전〉

이와 같이 설명한 CSBA에서 2020년 모자이크전에 대한 전반적인 개념과 가치 평가 그리고 결정 중심의 전쟁 구현 등을 정리 및 제시했다. 특히 미국은 지속되는 중화인민공화국, 러시아 등 경쟁 속에서 방위 태세를 재편하고 항공, 육상, 해상, 우주 및 사이버 공간 영역에서 행동을 더 잘하기 위해 설계된 새로운 방어 전략 및 작전개념이다.

〈표 1-1〉 기관별 모자이크전 정의

기관 구분	모자이크전 정의
Mitchell Institute	· 높은 수준의 능력을 갖고 있는 시스템과 대규모로 민첩성을 가진 작은 단위의 전력요소를 결합하여 수많은 서로 다른 구성(Configurations)으로 재정렬 할 수 있는 군사적 능력
현 DARPA STO Director Grayson	· 전장 상황에 맞춰 이미 갖고 있는 무기를 새로운 방식으로 결합하여 유인-무인팀 작전능력과 분산된 능력을 지휘관에게 육, 해, 공군에 상관없이 전력을 운용할 수 있게 하여 적으로부터 아군의 다음 전투수행이 무엇인지 예측할 수 없게 하는 개념
전 DARPA STO Director Bruns	· 기술기반의 비전으로 다양한 전력체계를 구성하고 높은 수준의 복잡성과 전략적 기동을 구현함으로써 선형적이지 않은, 웹 효과(Web Effect)를 창출하는 네트워크 전투로 적과의 다양한 형태의 분쟁을 억제하는 개념

여러 기관의 다양한 정의에 담긴 공통적인 특성을 뽑아보면 다음의 세 가지로 정리할 수 있다.

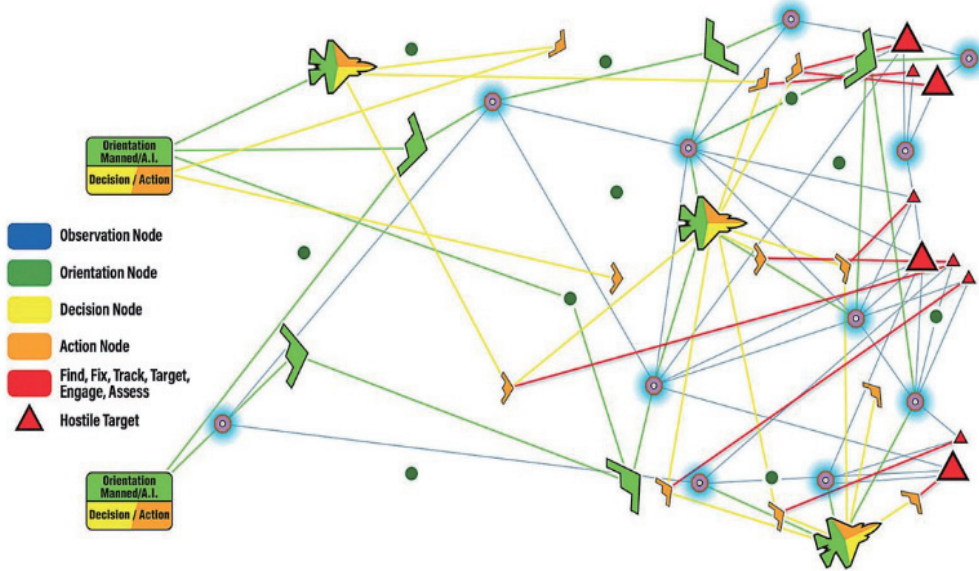
첫째, 신속하게 전투력을 구성 또는 재구성이 가능하다. 기존의 군사력은 대규모의 전력을 패키지화, 즉 하나의 플랫폼으로 묶어서 구성하여 운용함으로써 전시에 유연성 확보에 제한된다는 지적을 받고 있다. 특히, 최첨단 군사 무기체계의 경우 정교한 통합성이 요구 되는데, 전체 플랫폼 내에서는 오히려 새로운 기술을 접목 및 타 무기체계와의 연동성이 감소함에 따라 많은 시간과 노력, 비용이 수반된다는 것이다. 모자이크전에서는 기존의 군사 무기체계를 포함하여 작은 단위의 규모로 분산된 전력을 유연하게 결합하고, 지휘관에게 다양한 대안을 제공함으로써 아

군의 적응능력(Adaptability)을 향상시키고, 적에게는 대응방안을 복잡하게 부과함으로써 의사결정을 지연시킬 것을 강조한다.

둘째, 킬 체인(Kill Chain)에서 킬 웹(Kill Web)으로의 전환이다. 기존 네트워크 중심의 킬 체인은 킬 웹과 비교 시 정적인 방식으로 구분할 수 있는데, 이는 적이 이미 해당 작전개념을 인지하고 무력화하기 위한 방안 및 능력을 갖추고 있기에 하나의 연결고리가 끊어질 경우, 전체 전투력에 영향이 크다고 볼 수 있다. 따라서 동적인 킬 웹을 제공하여 높은 수준의 복잡성 및 전략적 기동을 통해 작전효과를 향상 시킨다는 것이다. 쉽게 말하면 하나의 노드가 무력화되더라도 작전 운용이 가능하도록 한다는 것이다.

셋째, 인간(사람) 중심의 지휘통제에서 기계통제로의 변화이다. 이것은 기존의 전쟁수행 방식과 가장 차별화된 개념이라고 볼 수 있다. 기존의 전쟁수행 방식에 있어서 지휘관인 인간의 능력에 따라 군사작전을 계획하고 실행해 왔다. 즉, 주어진 임무에 대한 방책의 마련은 그동안 인간의 고유한 영역이었다. 하지만 모자이크전에서는 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 등의 기술을 활용하여 적보다 신속하고 효과적인 의사결정을 지원하는 기계적 능력을 강조한다. 결과적으로 작은 규모의 분산된 전력의 구성 및 재구성 그리고 킬 웹을 확보하기 위해서는 인공지능과 같은 기계의 능력을 활용해야만 구현이 가능한 개념이라고 볼 수 있다.

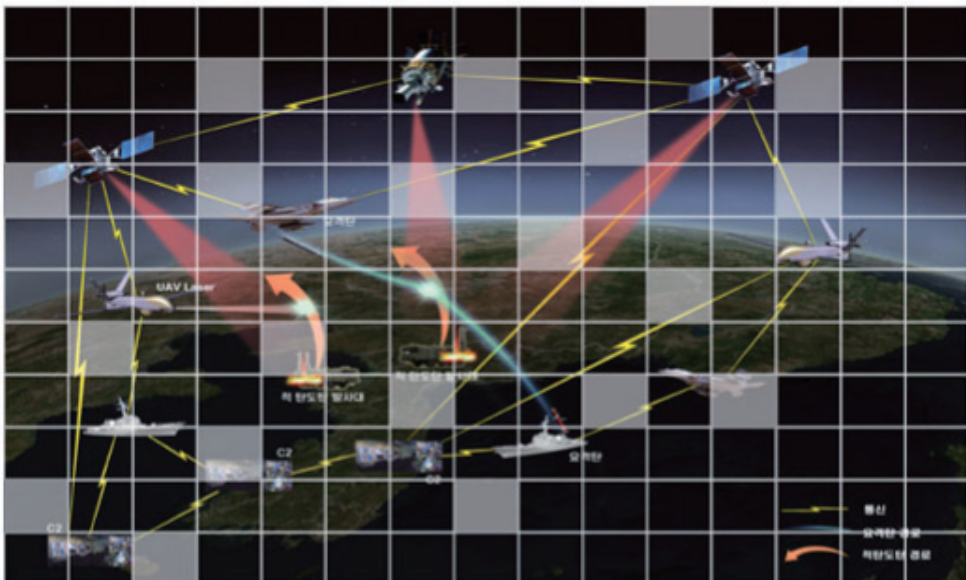
국방과학연구소에서도 미군의 모자이크전을 한국형 모자이크전(K-Mosaic Warfare)으로 한국의 지형과 상황 등을 고려하여 연구개발하기 위해 미래기술로 판단하고 있다. 한국형 모자이크전은 대한민국 전장 환경이 반영되어 미래 전장의 중앙집중-순차형 모놀리식(Monolithic) 킬 체인에 기반한 네트워크 중심전에서 분산-적응형 킬 웹에 기반한 모자이크전으로 진화된다 했다. 그리고 다영역·다차원 작전에서 개별 플랫폼은 분산-적응형 킬 웹에 기반하고 저비용으로 신속성, 유연성, 적응성으로 결합하여 전장에서 아축의 위협을 분산시킴으로써 생존성을 극대화한다. 특히, 무인화, 자율화, 지능화, 군집화 등 첨단국방 과학기술에 기반한 한국형 모자이크전을 구축함으로써 미래 전방위 위협에 대비하고자 한다.



〈그림 1-4〉 모자이크전의 개념도

(출처: Air Force Magazine)

### Decentralized Mosaic Warfare by Adaptive Kill Webs



〈그림 1-5〉 적응형 킬 웹을 적용한 한국형 모자이크전

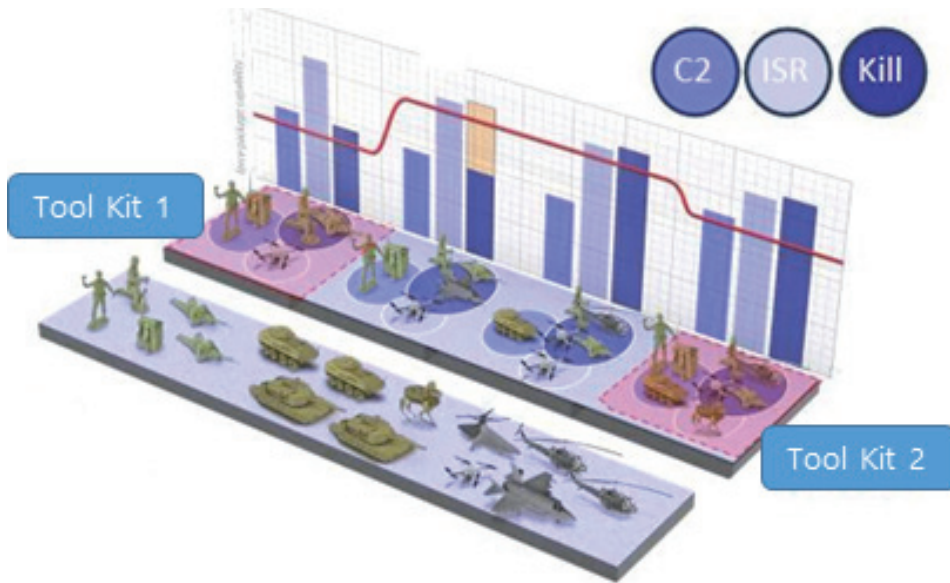
(출처: 국방과학연구소)

## 1.2 모자이크전 특징과 수행방법<sup>5)</sup>

### 1.2.1 전투력의 블록 및 조립화

레고(Lego)라는 말은 라틴어로 ‘나는 모은다’, ‘나는 조립한다’ 등의 의미를 갖고 있다. 그리고 레고 장난감이 갖고 있는 가장 핵심적인 특징은 생산 시점에 상관없이 레고 대부분이 갖고 있는 브릭(Brick)을 통해 호환된다는 것이다. 또한, 레고는 자사 제품들뿐만 아니라 타사 제품의 브릭들과도 호환된다. 예를 들어 다른 완구 브랜드인 메가블럭(Mega Block)나 옥스포드(Oxford)의 브릭도 레고의 브릭과 호환이 된다. 이러한 레고 장난감의 호환성은 모자이크전의 전투 요소를 블록이라 했을 때 블록의 조립화까지 이어짐을 잘 설명해 준다. 레고 장난감의 브릭들은 모자이크전에서 군사적 툴 킷(Tool Kit)으로 비교된다. 군사적 툴 킷이란 서로 다른 능력을 갖고 있는 전력 또는 같은 능력을 갖고 있는 전력들의 집합체라 할 수 있는데, 이러한 군사적 툴 킷은 전장 상황과 임무에 따라 적절하게 조합하여 현장 맞춤형 전투수행 능력을 발휘 할 수 있게 한다. 즉, 상황에 따라 전투력의 재조합하여 특정 무기가 특정 역할을 하는 고정관념에서 탈피하고 적과 대적 시 작전 상황에 따라 융통성 확보와 신속한 전력의 분산을 통해 다양한 전투를 수행할 수 있게 한다. 아래 그림은 전장 상황과 임무에 따라 다양한 형태로 조합되는 군사적 툴 킷의 예시를 보여준다. 만약, 어떠한 임무를 수행함에 있어 요구되는 능력이 지휘통신(C2), 정찰(ISR), 타격(Kill)의 세 가지 종류로 구성된다면 그때 군사적 툴 킷이 전장 상황과 임무에 따라 서로 다른 비율로 재조합 할 수 있다. 툴 킷 1의 경우 지휘통신과 타격능력 보다 정찰능력에 더 많은 비중이 요구된다면 그에 맞추어 전력을 구성하고, 툴 킷 2의 경우에는 타격능력, 지휘통제, 정찰능력 순으로 전력 비중이 요구된다면 그에 맞추어 구성하게끔 한다는 것이다.

5) 4차 산업혁명 시대의 모자이크 전쟁(미국의 군사혁신 방향과 한국군에 주는 함의), 국방연구, 남두현 외 3명, 2020. 참고



〈그림 1-6〉 군사적 툴 킷(Tool Kit 1~2)

(출처: DARPAtv 재구성)

기존의 전투수행 방식에서 F-22 편대나 항공모함과 같은 경우의 전력은 구성하는 것만으로도 적에게 아군의 의도를 노출 시킬 수 있는 위험이 있다. 아무리 제한된 단일 임무를 수행한다 할지라도 전체의 전력이 작전에 투영될 수밖에 없다는 뜻이다. 하지만 전투력의 구성 및 재구성화가 용이한 모자이크전에서는 특정 군사 무기체계가 특정 역할을 하는 고정관념을 벗어나게 하여, 작전상황에 따라 융통성 및 신속한 전력을 조합으로써 적에게 아군의 의도 노출과 피해를 최소화한다. 특히 전장 상황과 임무에 따라 필요로 하는 전투력과 이러한 전투력을 기초하여 요구되는 전력들의 조합을 인공지능에 의해서 제공 받은 점이다. 적과 아군, 작전지역 등에 대한 정보를 빅데이터로 수집 및 구축하고 있는 인공지능은 현장에 가장 적합한 능력과 전력 구성을 제공함으로써 지휘관과 참모들로 하여금 의사결정에 선택 폭을 넓혀주고, 정확성을 향상시킨다.

현재 미군에서는 모자이크전을 연안전투함(LCS, Littoral Combat Ship)에 적용을 시도하고 있다. 기존에 항모강습단이 수행하던 역할을 연안전투함이 대신할 수 있도록 추진했는데, 이를 위해 연안전투함은 다양한 종류의 무인 전력을 탑재 운영하여 군사적 툴 킷으로 활용한다. 즉 연안전투함은 대잠수함전(ASW, antisubmarine

warfare), 수상전(SUW, surface warfare), 기뢰전(MIW, mine warfare), 정보감시정찰(ISR) 등 다양한 임무를 수행할 수 있는 무인 전력을 보유하고 있으면서 전장 상황과 임무에 맞추어 전력들을 융통성 있게 운용한다.

연안전투함은 상호 네트워크화된 무인 전력을 활용함으로써 소규모 전력으로도 넓은 범위의 작전지역을 담당할 수 있으며, 기존의 항모강습단과 달리 적의 공격에 대한 취약성이 상당히 감소되어, 모자이크전의 등장 배경과 원인에서 제시된 경제적인 측면에서도 유리한 점을 확보한다.

### 1.2.2 분산 및 적응력 제공

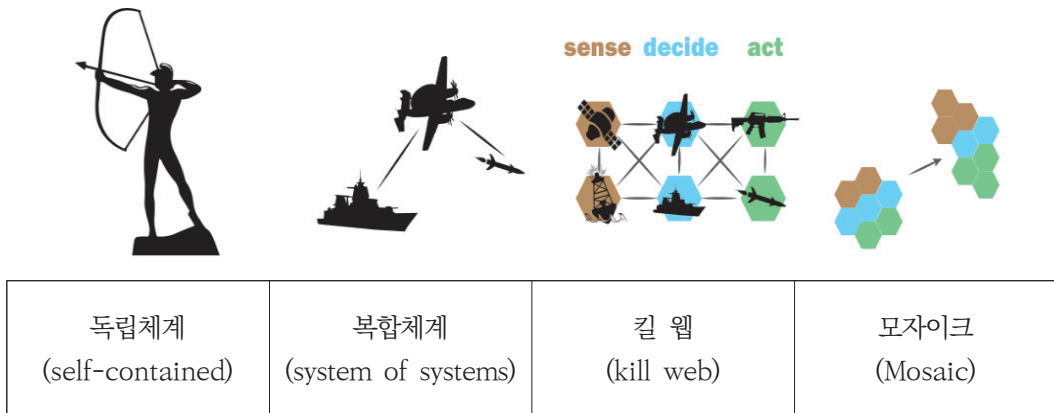
모자이크전은 전력을 분산 운용하여 적에게 대응성을 저감시키는 능력을 제공한다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 현 작전개념은 강력한 전투력을 견고한 단일체계의 형태로 적에게 압도적 우위를 달성할 수 있으나 이러한 상대적 우위는 지속 유지하기 어렵고, 단계적 발전이 제한된다. 반면, 모자이크 전쟁에서는 분산체계를 통해 적응성을 갖춘 탄력적인 조합이 가능하여 인공지능에 의한 다양한 전력 운용의 옵션을 통해 적에게 치명상을 입힐 수 있다.



〈그림 1-7〉 현 작전개념과 모자이크전 비교(예시)

(출처: DARPA STO)

모자이크전은 적의 위협에서 신속 대응하고, 만약 아군이 피해를 입더라도 빠르게 전투력을 회복한다는 것이다. ISR과 C4I, 타격체계의 분산을 추구하고 이를 준 독립적으로 운용함으로써 중앙의 지휘통제체계를 보호하고, 중앙 시스템이 파괴된다 할지라도 지속적인 작전수행 능력을 확보할 뿐만 아니라 비상시 전투조직을 재구성해 낸다. 이는 네트워크 중심전에서 통합된 하나의 전투 플랫폼이 지닌 한계를 극복하는 의미를 갖고 있는데, 단 한 번의 타격으로 전투 플랫폼 전체가 마비되는 사태를 사전에 예방 및 방지하는데 중점을 둔다. 또한 모자이크 전쟁은 특정 표적에 최적화된 군사 무기체계 보다는 변화하는 전장환경의 과정에서 전장 조건과 새롭게 발생하는 적의 취약점을 적시에 공격할 수 있는 전력을 적응력 있게 조합한다. 아래 그림은 독립체계로부터 모자이크 전쟁에 이르는 감시(Sense)-결심(Decide)-대응(Act)의 진화적 발전 과정을 보여준다.



〈그림 1-8〉 감시-결심-대응의 진화적 발전

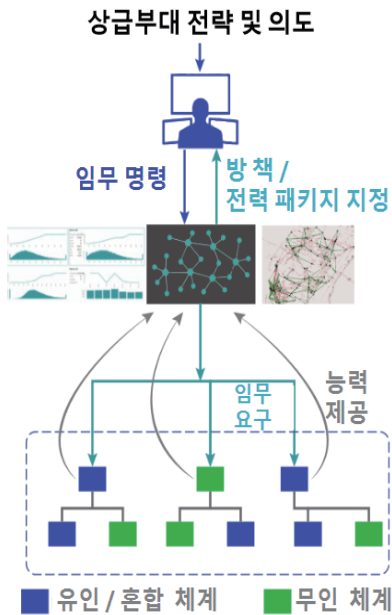
(출처: CSBA)

먼저 독립체계는 제한된 통신 및 네트워크 속에서 외부에 의존하지 않고 독립적으로 킬 체인(kill chain)을 수행하는 체계이다. 킬체인이란 감시 수단을 이용하여 적 공격의 징후 및 표적을 탐지한 후, 신속하게 적을 공격하는 일련의 타격체계를 의미하는데, 감시-결심-대응으로 이루어진 ‘타격 순환 체계’라고도 한다. 따라서 독립체계에서는 외부의 지원 없이 독립적으로 감시-결심-대응을 수행한다. 복합체계는 사전에 주어진 정보를 통해 제 3자가 킬체인을 수행할 수 있도록 하는 체계이다. 이로 인해 감시 및 타격 자산이 동일 장소에 위치할 필요가 없게 된다. 즉

함정에서 표적을 식별하게 된다면 함정에서 타격하지 않고, 보다 효율적으로 타격할 수 있는 전투기에 표적 정보를 제공하여 전투기가 타격하게 한다. 킬 웹은 여러 개의 킬 체인이 거미줄처럼 상호 연결되어 있는 체계를 말한다. 킬 웹에서는 감시-결심-대응 체계가 서로 유기적으로 연결되어 있어 전장 정보가 공유된다. 이에 따라 사전 부여된 임무가 탄력적으로 조정될 수 있으며, 적에게는 더욱 치명적인 결과를 부과할 수 있다. 마지막으로 모자이크 전쟁에서는 전장 상황에 따라 임무를 실시간 조정할 수 있으며, 변화된 임무에 맞추어 감시-결심-대응 수단도 효과적으로 재구성할 수 있다. 지속 변화 전장상황에서 적의 위협과 환경에 매우 적응력 있게 대응하여, 적으로부터 아군의 전력 구성과 의도 파악을 어렵게 하고 궁극적으로 적의 의사결정 체계를 붕괴시켜 아군에게 더 많은 융통성과 기회를 부여한다.

### 1.2.3 결심을 위한 상황 중심(Context-Centric)의 C3체계

결심중심의 전쟁에서 가장 방해되는 요소는 지휘·통제·통신 체계, 즉 C3체계(Command, Control, Communication System)이다. 즉, 모자이크 전은 단일체계가 아닌 다양하고 적응력 있는 분산체계에 의해 수행되는데, 기존의 전통적인 전쟁수행 방식에서 전력은 그 수가 제한되어 있어 지휘·통제·통신이 용이하다. 하지만 모자이크 전쟁에서는 수없이 많은 전력들이 분산되어 운용되기 때문에 이들을 통제하기란 쉽지 않다. 우선 전력이 다양하게 분산되어 있다 보니 자신의 능력 수준을 판단하기가 제한되고, 결과적으로 어느 범위까지의 임무를 수행할 것인지 도출하기가 제한된다. 또한 작전 임무를 수행함에 있어서 어떠한 종류의 전력을 얼마만큼의 규모로 어떻게 통합하여 운용할 것인지를 결정하기도 매우 제한된다. 모자이크 전쟁에서는 바로 이러한 제약사항에서 상황 중심 C3체계를 발전시킴으로써 해결한다. 상황 중심의 C3체계란 기존의 지휘·통제·통신 체계에 지능화된 인공지능을 결합하여 인간의 의사결정 방식에서 기계중심의 의사결정 시스템으로 하여금 단점들을 보완하여 보다 적시적이고 정확한 의사결정이 이루어지도록 하는 체계를 말한다. 상황 중심의 C3체계에서 핵심적인 역할을 수행하는 인공지능은 알고리즘을 통해 전장 정보를 실시간 수집, 처리, 활용을 구현한다. 아래 그림과 같이 인간 지휘관은 상급부대의 전략 및 의도를 기초하여 인공지능으로 작동하는 기계 보조 통제 시스템에 컴퓨터 인터페이스를 통해 임무를 명령 및 하달한다.



- 인간 지휘 (Human command)
  - 작전계획 발전
  - 임무 명령 하달
- 기계 보조 통제 (Machine-assisted control)
  - 임무를 수행하기 위한 단위 요청
  - 가용한 능력으로 kill chain 구성
- 유인 / 무인 체계
  - 유인: 분대, 전차, 구축함 등
  - 무인: 무인기, 미사일, 위성 등
  - 명령 수행을 위한 능력 제공

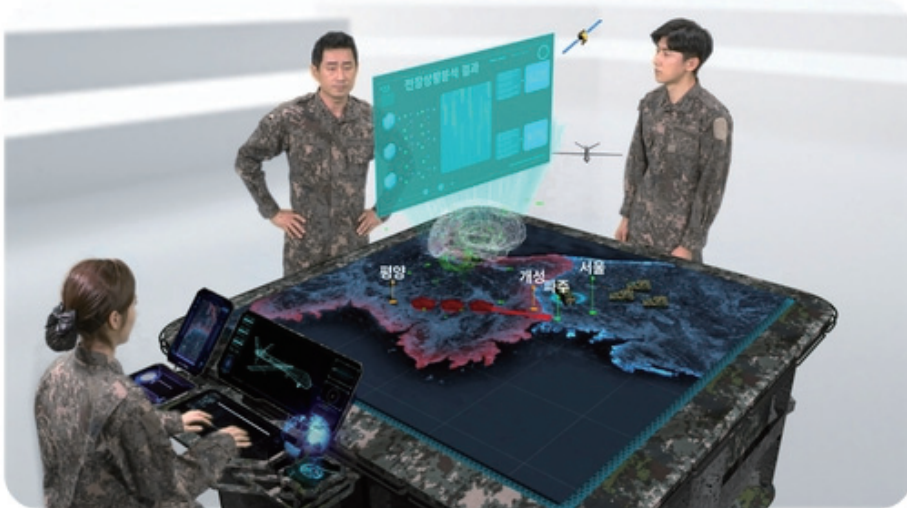
〈그림 1-9〉 상황 중심 C3 체계

(출처 : CSBA)

기계 보조 통제 시스템은 유인 및 무인 체계로 구성된 예하 조직들 중 부여된 임무를 수행할 수 있는 전력들을 식별하고, 이러한 전투 전력들이 가진 능력으로부터 감시-결심-타격의 kill chain을 구성한다. 이후 기계 보조 통제 시스템은 인간 지휘관에게 여러 개의 상황 중심의 방안 및 방책을 제공하여, 방안 및 방책의 최종 결정은 지휘관에 의해 이루어진다. 이러한 상황 중심의 C3체계의 특징은 기존의 인간인 참모들에 기계 보조 통제 시스템으로 작동하는 인공지능 참모가 더해져 지휘관의 결심에 보조 역할이 강화되었다는 점이다. 또한 인공지능의 도움으로 인해 임무 명령 하달로부터 과업 식별, 과업을 수행하기 위한 전투전력 구성, 운용하기 위한 방안 및 방책 수립, 지휘관에 의한 결심에 이르는 작전수행 과정이 기존 지휘통제 시스템에 비해 매우 신속하게 이루어지게 된 것이다.

### 1.2.4 효율적인 전장 운용

미국의 전략예산평가센터(CSBA, Center for Strategic and Budgetary Assessments)에서는 ‘전통적 전투수행 방식 팀’과 ‘모자이크 전쟁 방식 팀’으로 나누어 워게임을 진행했다. 시나리오는 2035년을 가정하여 비전투원 호송, 적국 인근 동맹 지원, 전면전 상황을 대응하여 주요 분석 대상은 양 팀의 의사결정 방식이었다. 의사결정에는 전략 및 시나리오 개발, 상황에 따른 방안 및 방책 수립과 검토, 임무수행을 위한 전력의 구성과 전술개발, 결과 분석 등이 포함되었다. ‘전통적 전투수행 방식 팀’은 인간 지휘관 및 참모에 의해 의사결정이 진행되는 현재의 시스템을 적용했다.



〈그림 1-10〉 인공지능기술과 작전수행

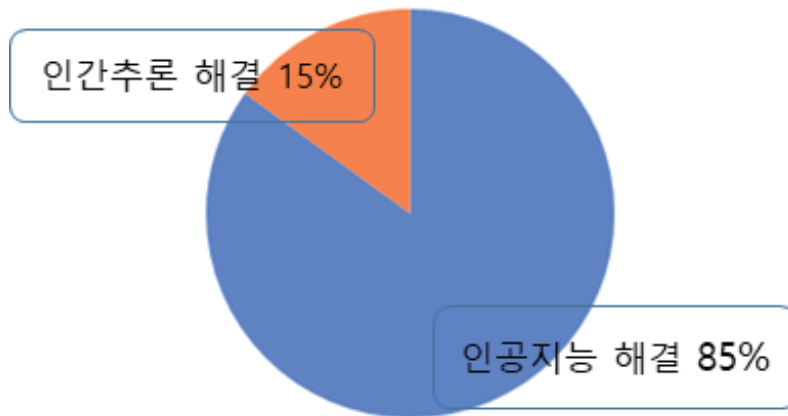
(출처: 한경산업)

반면 ‘모자이크 전쟁 방식 팀’은 인간과 인공지능 기계와의 결합하여 상황중심의 C3체계에 의한 의사결정 방식을 적용했다. 워게임 결과는 아래와 같다.

- ① 지휘관과 계획 수립관들은 기계 보조 통제 시스템에 의해 제시된 방책들에 대하여 신뢰를 가질 수 있었다.
- ② 모자이크전은 아군 전투 전력 패키지에 복잡성을 증가시키고 적의 의사결정을 저하시켰다.

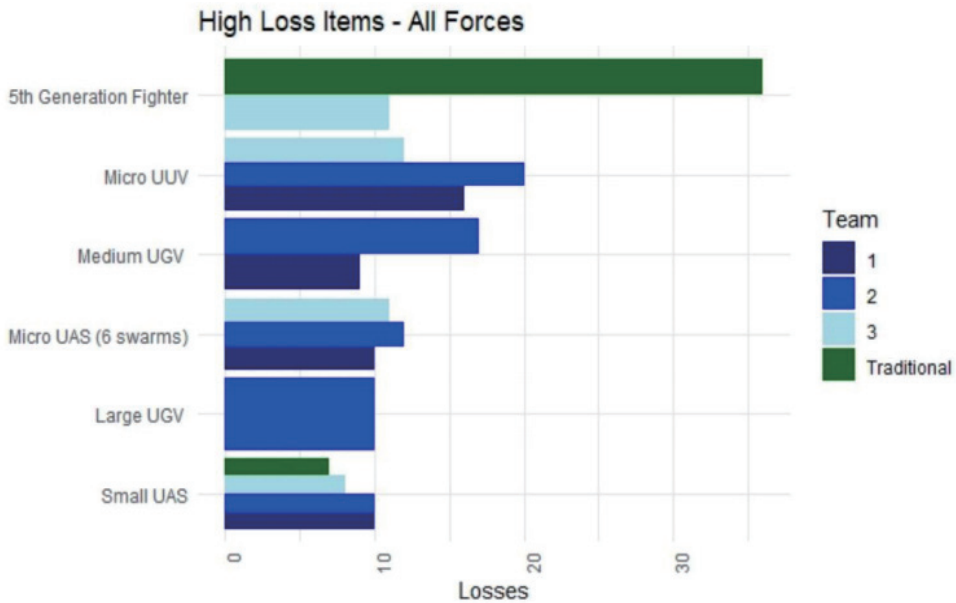
- ③ 모자이크전은 지휘관들로 하여금 동시다발적으로 행동하게 함으로써 적으로부터 복잡성을 야기시켰고, 적의 의사결정을 압도했다.
- ④ 모자이크전은 아군의 의사결정 속도와 작전수행 속도를 향상시켰다.
- ⑤ 기존의 전투방식에 비해 모자이크전은 전략 목표 달성에 유리했다.

결론적으로 기계 보조 통제 시스템이 지원하는 모자이크 전쟁 수행방식이 기존 의사결정 방식에 비해 더 좋은 결과를 이끌었으며, 아군의 전투원 생존성을 증대시킬 수 있었다. 중요한 것은 워게임에서 인공지능이 해결할 수 있는 영역이 최대 85%를 차지한 반면, 미래를 예측하고 추론하는 15%의 영역은 인간의 역할로 남아 있다는 점이다.

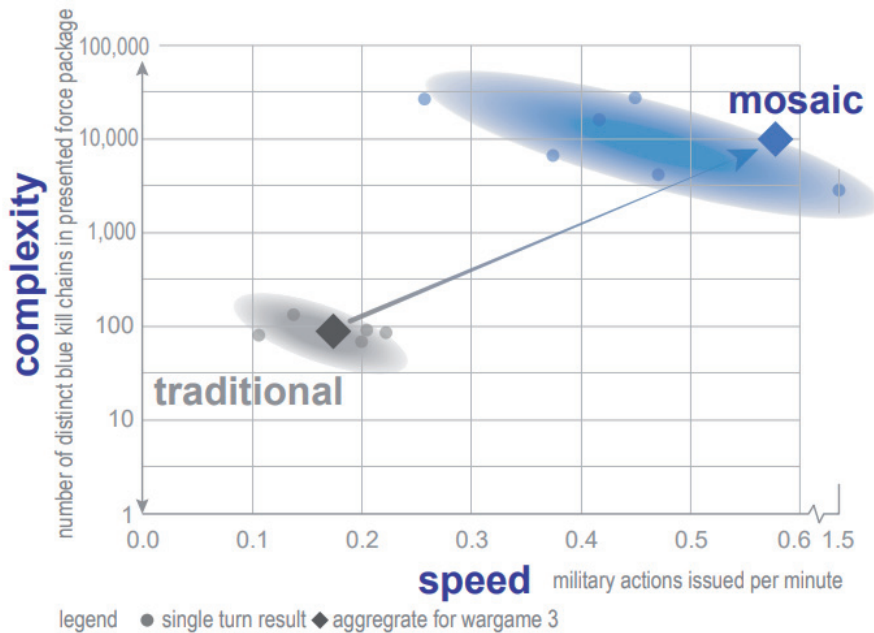


〈그림 1-11〉 워게임에 의한 영역별 해결능력  
(출처 : CSBA 재구성)

이러한 사실은 첨단 과학기술에 상당 부분 의존하게 되는 미래전장에서도 인간의 판단력, 결심, 예측은 매우 중요하다는 교훈을 주고 있다. 세계적인 뇌과학자로 알려져 있는 이스라엘의 야딘 두다이(Yadin Dudai) 교수는 인간의 지식 체계는 두뇌의 다양한 회로를 거쳐 완성되는데, 크게 두 가지로 정리로 요약한다. 하나는 상황적(Declarative) 지식으로 사실(Fact)에 근거한 것이고, 다른 하나는 상황과는 독립적인(Non-Declarative) 지식으로, 두뇌 속에 이미 축적된 경험과 정보이다. 상황을 인식하는 과정에는 이 두 가지 유형의 지식 체계가 동시에 작동하여 전장



〈그림 1-12〉 기존 전투방식과 모자이크 전쟁 비교(전력 소모율)  
(출처: CSBA)



〈그림 1-13〉 기존 전투방식과 모자이크 전쟁 비교(복잡성, 속도)  
(출처: CSBA)

에서의 상황인식이란 해당 시점에서 직접 지각되는 다양한 정보와 이미 습득되어 있는 전장 경험들이 서로 유기적으로 결합되는 과정이라고 한다. 결국 전장의 상황을 인식하고 예측하며, 지휘관의 판단과 결심하는 일은 여전히 전장에 참여하고 있는 인간들의 몫이 할 수 있다.

### 1.3 현용 군사력 운용의 한계점<sup>6)7)</sup>

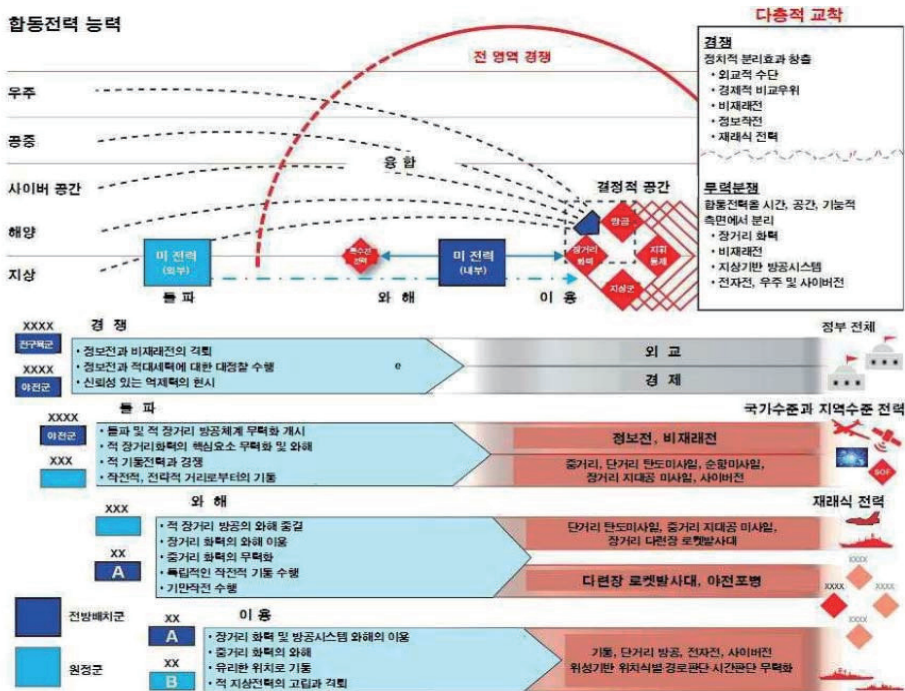
#### 1.3.1 정적인 작전 운용

모자이크전 개념이 등장하면서 기존의 네트워크중심전 또는 다영역 동시 통합작전(Multi - Domain Operation, MDO)과 어떻게 다른지에 대한 논의가 이루어지고 있다. 네트워크중심전은 모든 전력이 복합체계(System of Systems)로써 정교하게 통합되고 상호 연동된다. 네트워크중심전 환경에서 지휘관은 광범위한 작전 지역에 대하여 제한 없이 상황인식을 하고, 모든 전력이 항상 높은 수준으로 연결된다는 가정을 하고 있다. 하지만 적이 네트워크화된 전력에 대하여 적이 전자전 공격 통해 피해를 입힐 경우 지휘관의 전장 상황인식과 전투 통제능력은 현저히 저하 될 수밖에 없다.

모자이크전 개념에서는 이러한 네트워크 연결성에 적으로부터 혼란과 단절이 발생 될 경우를 가정하고 접근한다. 이를 극복하기 위한 것이 분산된 형태의 전력, 동적인 네트워크의 구성과 재구성, 인공지능 등 기계적 능력을 통한 신속한 의사 결정이다. 이것이 네트워크중심전과 모자이크전의 차이라고 CSBA(Center for Strategic and Budgetary Assessments) 보고서에서 설명하고 있다. MDO도 다양하게 전력을 분산시켜 운용것은 기본적으로 모자이크전의 개념과 동일하다고 할 수 있다. 다만 MDO에서는 여전히 인간기반의 능력을 바탕으로 작전이 기획된 방식에 머무르고 있다. 결과적으로 전력, 전술, 교리 측면에서 MDO의 혁신적인 개념을 구현하기 위해서는 모자이크전의 개념과 특징과 같이 전력을 구성하여 적에게 복잡성을 제공할 수 있는 자동화 능력을 갖추어야 함과 동시에 현 군사력 운용의 한계점인 것이다.

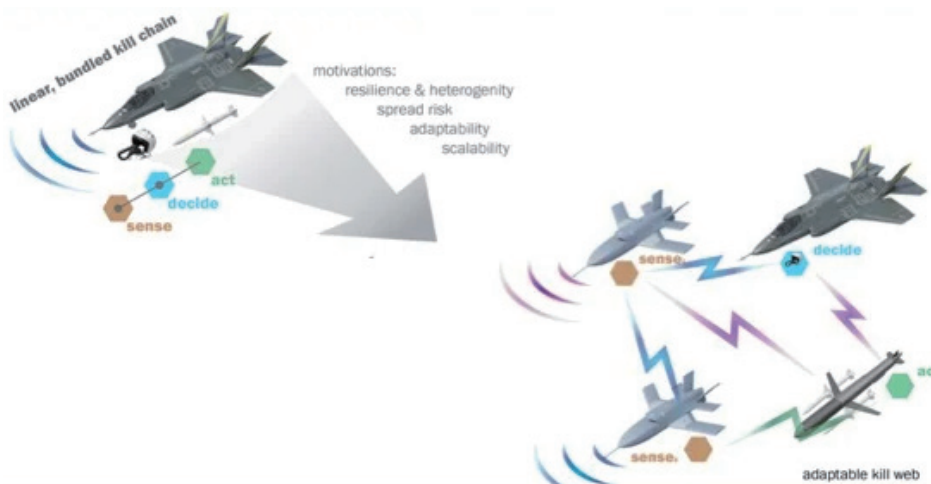
6) 모자이크전 개념과 시사점, 국방논단, 박지훈 외 1명, 2020. 참고

7) Mosaic\_Warfare, CSBA, BRYAN CLARK, DAN PATT, HARRISON SCHRAMM, 2020 참고



〈그림 1-14〉 다영역작전 수행 개념

(출처: 미 육군 미래사령부)





〈그림 1-15〉 Kill Chain에서 Kill Web로의 전환

(출처: CSBA)

DARPA가 모자이크전 개념을 설명하면서 사용한 퍼즐과 모자이크의 비유는 매우 직관적인데, 퍼즐은 서로 다른 형태의 조각들이 모여 전체적인 모습이 이루어 지는데, 하나의 조각이 없다면 전체모양이 구성되지 못하고 대체하기가 어렵다. 즉 전통적 방식의 작전수행에 군사력 요소가 하나의 조각으로 되어 있다면, 각 조각들은 첨단 무기체계와 정보 네트워크로 정교하게 연결 및 설계된 전력이고, 만약 하나의 전력이 상실 될 경우 이를 극복하기 위한 대처가 어렵고 군사력 전체에 영향을 미치게 된다는 것이다. 또한 전통적 방식의 전투수행 방식은 선형적이고 정적이며 네트워크의 형태도 대규모의 복합체계로 구성된 킬 체인(Kill Chain) 형태로 표현할 수 있다. 반면 모자이크전의 전투수행 방식은 전력이 표준화된 조각들이 모여 전체 모습을 구성하지만, 수 개의 조각이 없더라도 전체 그림에 주는 영향은 미미하고 대체도 용이하다. 새로운 군사력의 모습으로 표현하면 작은 단위의 분산된 전력들이 상황에 맞게 구성과 재구성이 용이하게 하여, 동적인 킬 웹(Kill Web)의 형태로 표현할 수 있다.

〈표 1-2〉 비유를 통한 모자이크전의 개념 접근

구분	퍼즐	모자이크
그림 (비유)		
요소	· 다양한 형태의 딱 맞는 조각들	· 표준화된 타일들
영향	· 조각 하나가 없으면 전체모양이 구성되지 못하며, 대체가 제한	· 타일 몇 개가 없어도 전체 그림에 영향이 미미하며, 대체가 용이
전력 비유	· 첨단 무기체계와 정보 네트워크를 사전에 정교하게 설계된 전력	· 작은 단위의 분산된 전력들을 상황에 맞게 구성/재구성
전력운영	· 선형적, 정적 형태	· 즉흥적, 동적 형태
네트워크	· Kill Chain(NCW)	· Kill Web(Effect Web)

### 1.3.2 교차전장역의 시너지효과 부족

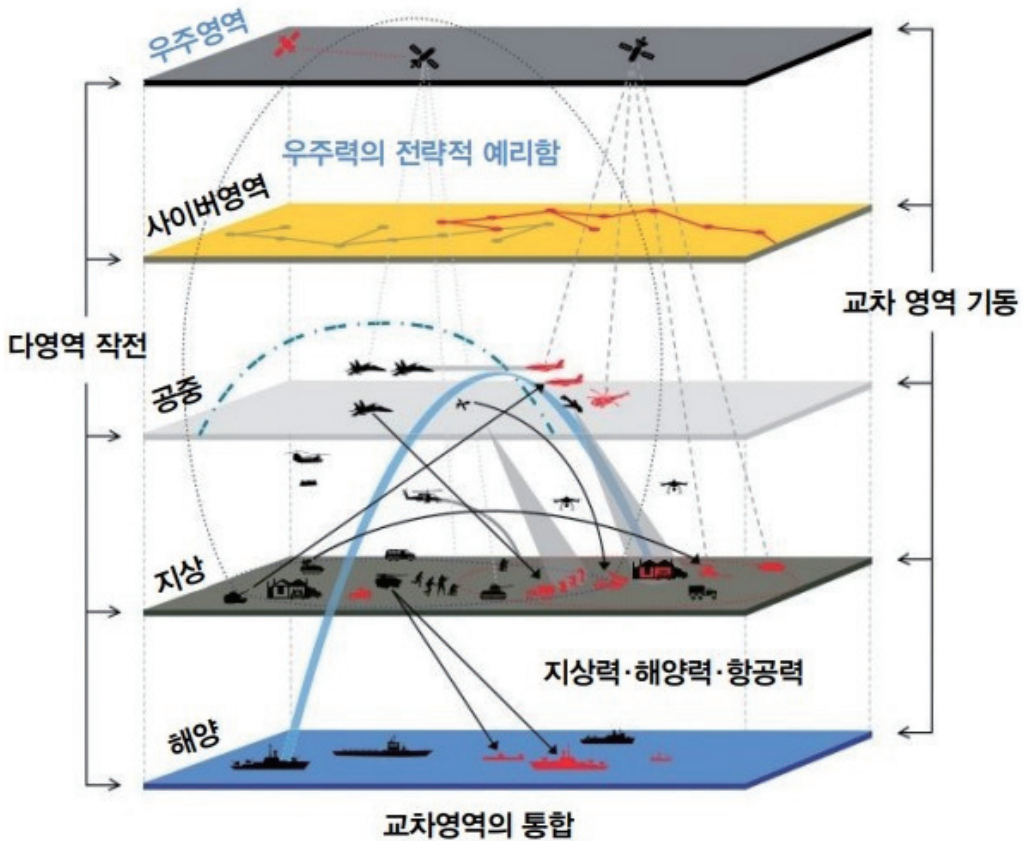
미국은 해양과 공중 영역 등에서 적으로부터 군사력이 압도적 우위를 선점하기 위해 다양한 작전 지역에 대하여 군사력을 확장 및 시도해 왔다. 하지만 중국과 러시아에 의해 A2/AD전략이 추진됨에 따라, 미국은 전장 영역에서 군사력이 압도적 우위는 더 이상 당연한 것으로 간주할 수 없게 되었다. 이러한 A2/AD전략을 무력화시키고 미군의 군사력이 원활하게 투사 및 보장하기 위하여 미국은 2010년에 발간된 4개년 국방검토보고서(Quadrennial Defense Review, QDR)를 통해 공해전투(Air-Sea Battle, ASB) 개념을 공식적으로 제시했다. 그러나 공해전투 개념은 아래와 같이 두 가지 측면에서 비판이 제기되었다.

첫 번째, 공해전투 개념은 지상군의 역할을 배제한 상황에서 공군과 해군 중심으로 이루어졌는데, 이로 인하여 육해공 전력의 합동성(Jointness)에 대한 고려가 부족했다.

두 번째, 공해전투 개념은 공군과 해군의 유도무기에 의한 직접적인 공격을 전제로 하고 있는데, 이로 인하여 전장 확대 가능성이라는 위험성에 대한 비판이 제기되었다.

결국 미 합참은 2015년 1월에 공해전투를 대신하여 ‘국제공역에서의 접근과 기동을 위한 합동개념(JAM-GC: joint Concept for Access and Maneuver in the Global Commons)’이라는 새로운 작전 개념을 제안한다. 이후 JAM-GC는 오바마 행정부 후반기인 2016년 10월, 합참 부의장 폴 셀바(Paul Selva)의 서명을 통해서 A2/AD 전략환경에 대응하기 위한 미 합참의 공식적인 군사전략으로의 위상을 확보하게 된다. 공해전투개념이 논란을 거치면서 JAM-GC 개념으로 대체되는 과정에서 미 합참은 이들 개념들의 상위 작전 개념으로서 ‘합동작전접근개념(JOAC: The Joint Operational Access Concept)’을 제시한다. 합동작전접근개념의 핵심은 ‘교차전장영역 시너지효과(WDS: Cross-Domain Synergy)’라는 개념이다. 이는 지상, 해양, 공중, 사이버 영역, 우주영역으로 5개의 독립적인 전장영역을 교차함으로써 특정 전장영역에서 미 군사력의 취약성을 상쇄시키고 군사력 운용의 효율성을 향상시키는 개념이다. 이러한 합동작전개념을 구현하기 위해 미군의 각 군은 자체적으로 새로운 작전개념을 정립하여 발전했다. 먼저 미 육군 교육사령부는 상위 합동개념을 육군 차원에서 구현하기 위하여 2017년 ‘다영역전투(Multi Domain Battle)’의 기본개념을 발표했고, 2018년에는 ‘다영역전투’의 문제

점들을 보완한 ‘다영역작전(Multi Domain Operation)’을 발표한다. 다영역작전은 ‘경쟁-무력분쟁-경쟁으로의 회귀’ 라는 순환 고리를 갖는 국제분쟁에서 동급의 가상 적국을 대상으로 지상, 해양, 공중, 사이버영역, 우주영역에서 어떻게 싸워 승리할 것인지를 기술한 작전개념이다.



〈그림 1-16〉 교차 전장 영역

(출처: <https://www.defencetalk.com>)

또한, 미 해군은 중국의 A2/AD 전략에 맞서 유령함대(무인 해양체계)나 신형 호위함과 같은 4차 산업혁명 시대의 과학기술을 기반한 전력을 건설하여 분산 해양 작전(DMO, Distributed Maritime Operations)을 수행하려고 시도하고 있다. 이는 더욱 강화된 살상력으로 무장된 다수의 소형 전투 플랫폼을 분산시켜 중국 해군의 감시와 표적화 능력을 복잡하게 만들고, 미 전력의 생존성을 높이기 위

한 것이다. 즉 남중국해와 같은 해역에서 미 해군이 중국의 전력에 맞서기 위하여 종전과 같은 항모강습단 중심의 고가치 전력을 집중적으로 운용하기 보다 다수의 이동 플랫폼이나 소규모 전력 패키지를 통해 보다 넓게 분산시킴으로써 중국의 정보정찰 감시 및 표적화 능력을 복잡하게 압박하는 것이다.

4차 산업혁명 시대의 과학기술에 기반한 미군의 무기체계의 살상력을 모든 플랫폼에 탑재하여 중국의 중심을 타격함으로써 중국에게 비싼 대가를 강요 할 수 있다. 한편, 미 해병대는 작전 간 전진기지를 확보하는 개념의 원정기지 작전(EABO, Expeditionary Advanced Base Operations)을 구상하고 있다. 이 또한 남중국해를 중심으로 활동 반경을 늘리고 있는 중국을 염두해 둔 것인데, 중국과 충돌 사태가 발생한다면 본진이 도착하기 전에 먼저 도서지역에 전진기지를 확보한다는 개념이다.

모자이크전이라는 미래전 개념이 위에서 살펴본 현재의 미 군사작전개념을 대체하는 것은 아니다. 미군의 공해전투, 합동작전 접근개념, 국제 공역에서의 접근과 기동을 위한 합동개념, 다영역 작전, 분산 해양 작전, 원정기지 작전 등은 이미 미군이 자체 합동 및 각 군 교리와 개념서에 반영되어 있다. 오히려 모자이크 전쟁은 각 군의 군사작전 수행개념을 기술적 측면에서 실현 가능할 수 있도록 지원함으로써 효과적으로 전투력을 통합하고 이를 통해 예산을 효율적으로 운용할 수 있도록 뒷받침이 되는 것이다.

## 2. 전쟁의 승전요소에 관한 분석

### 2.1 임무변수(METT-TC)에 의한 분석<sup>8)</sup>

임무변수(METT-TC)는 임무 완수에 직접적으로 영향을 미치는 작전환경의 요소로써 임무(M), 적(E), 지형 및 기상(T), 가용한 부대 및 자원(T), 가용시간(T), 민간 요소(C)가 있다. 임무변수는 전장에서 불확실하고 유동적인 상황을 체계적이면서 객관적으로 평가하는데 유용하다. 또한 가장 효율적인 대응방책 수립을 가능하게 해준다. 임무변수의 각 요소에 대한 설명과 “Representability of METT-TC factors in JC3IEDM”, 12th International command and control research and technology symposium, 2007.의 자료를 바탕으로 승전요소를 아래와 같이 분석 및 제시한다.

- ① 임무(Mission, M)이며, 수행해야 할 행동과 그 행동의 이유를 명확하게 제시하는 목적을 수반하는 과업이다. 승전요인은 아래와 같다.
  - 상급 지휘관이 부여한 임무
  - 상급 지휘관의 의도
  - 상급 부대의 작전 목표
  - 상급부대 작전 최종 상황
  - 운영 목표에서 파생된 과업
- ② 적(Enemy, E)이며, 적을 분석하는 요소에는 적의 구성, 기동성, 적 교리, 전투력, 위치, 확인된 적 전투양상, 적 지휘관의 개인적 습관 및 능력, 특성, 장비, 취약점, 가능한 적 방책 등이 있다. 승전요인은 아래와 같다.
  - 부대 구조
  - 병력 배치
  - 적 사령관의 의도
  - 현재 적의 과업
  - 적의 예상 계획
  - 적의 전투력 수준
  - 물류 공급 수준

8) METT-TC에 의한 명량해전 승전요인 분석(전장 불확실성과 마찰요소를 중심으로), 군사연구, 이경식, 2015.

- ③ 지형 및 기상(Terrain & Weather, T)이며, 작전에 심대한 영향을 미치는 작전 조건으로, 지형 및 기상은 어느 한쪽이 특별히 해당 환경에 더 익숙해 있거나 작전을 보다 철저하게 준비하지 않는 한 중립적이다. 승전요인은 아래와 같다.
- 기계화 부대의 진입로
  - 보병 또는 침투 부대의 진입로
  - 기온 및 비, 눈, 안개
  - 중요한 지형 특징
  - 자연 및 인공 장애물
- ④ 가용한 부대 및 자원(Troops & Support Available, T)이며, 가용 아군부대 및 지원할 수 있는 수, 형태, 능력, 상태이다. 여기에는 훈련, 정비·보급상태, 사기 등이 포함된다. 승전요인은 아래와 같다.
- 부대 구조
  - 전투력 수준
  - 예하 부대
  - 무기체계 수준(탄약 포함)
  - 동원 및 지원 가능 부대(기계화 부대 포함)
- ⑤ 가용시간(Time Available, T)이며, 계획수립, 작전준비, 작전시간을 위한 가용시간을 말한다. 승전요인은 아래와 같다.
- 작전 준비 및 수행시간
  - 상급부대로 하달받은 작전 시간
  - 지원 및 보강부대의 도착 시간
- ⑥ 민간요소(Civil Considerations, C)이며, 작전지역 내의 인공의 기반시설, 민간기관, 민간지도자의 태도와 행동, 주민 등이 각종 군사작전을 수행하는데 미치는 영향 요소이다. 승전요인은 아래와 같다.
- 작전지역내 민간인 성향
  - 민간 운영영역의 안정성(행정, 시설, 토목 등)
  - 우호적 여론 및 적대민의 규모
  - 민간인 지원 수준(행정, 보안, 자재 등)
  - 운영에 제한되는 시설



〈그림 2-1〉 임무변수 구성요소

추가적으로 모자이크전의 개념을 임무변수에 적용하여 분석을 하면, ‘임무’는 기존 지휘관의 결심이 아닌 인공지능에 의한 최적의 선택으로 결정되게 된다. 임무변수의 ‘적’은 적의 교리, 전술 등이 입력된 인공지능에 의해 예상되는 적의 움직임과 취약점을 도출하여 아군이 적을 인지할 수 있게 한다. 임무변수의 ‘지형 및 기상’은 기존 중립적인 환경요소를 상황별 아군에게 가장 이롭게 만들 수 있도록 한다. 임무변수의 ‘가용부대 및 자원’은 최종 승리를 위해 가용부대의 효율성을 증대시킨다. 임무변수의 ‘가용시간’, ‘민간요소’는 최적의 아군 상황을 조성하기 위해 기반을 제공한다.

## 2.2 전장 6대 기능중심의 분석<sup>9)</sup>

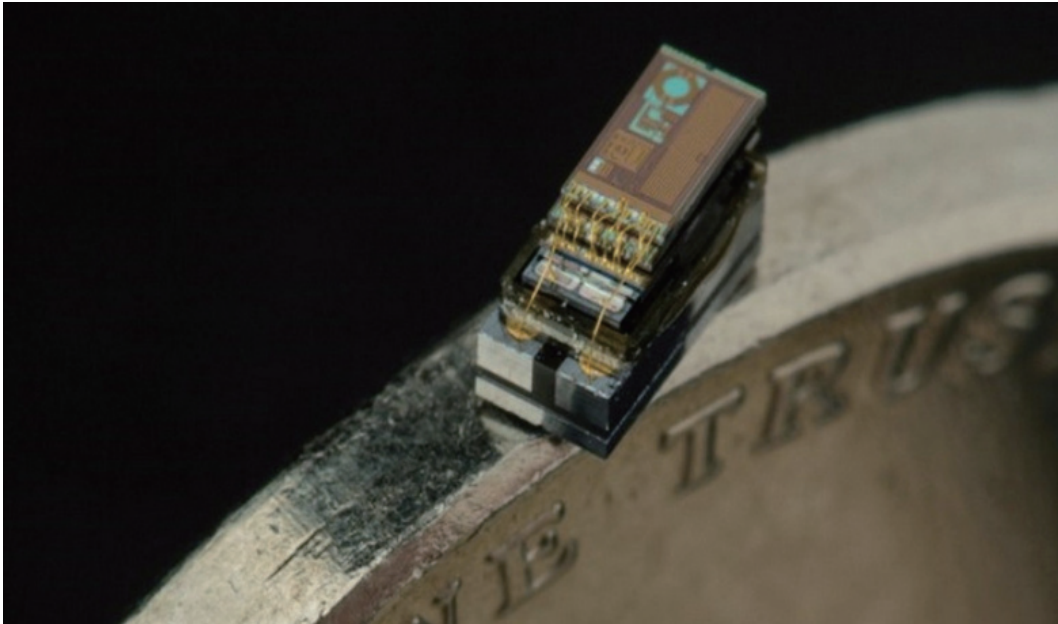


〈그림 2-2〉 전장 6대 기능

### 2.2.1 정보기능

정보기능의 주 역할은 정보의 수집과 보고이다. 4차 산업혁명에 따른 군사 과학 기술의 발전은 정보기능의 수단으로 활용되는 무인정찰기, 적외선 카메라, 스마트 먼지 등 다양한 형태의 장비 센서로부터 정보를 획득한다. 이와 같이 수집된 정보는 연결된 네트워크를 통해 원거리를 지휘소까지 전달한다. 또한 탐지와 동시에 내장된 애플리케이션을 통해 의미 있는 정보로 가공하여 별도의 처리 과정이나 중간 제대를 경유하지 않고도 직접 전송함이 가능하다. 즉 수집된 정보를 필요로 하는 아군에게 신속히 제공되어 적시 작전수행 능력을 보장하는 것이다. 특히, 위험도가 높은 적지중심작전 투입 병력이 소지하고 있는 센서형의 전자 매개물이 정보 전달을 대신함으로써 아군의 위험노출 수준을 대폭 낮추게 한다. 만약 적 접근로에 살포해 놓은 접착식 스마트 먼지(Smart Dust)를 이용하여 적의 접근상황을 실시간으로 파악될 것이다. 또는 정보수집 센서가 내장된 트로이 목마형 디코이를

9) 유비쿼터스 환경에서의 NCW 정보보호 대책, 정보보안논문지, 권문택, 2010.



〈그림 2-3〉 스마트 먼지(Smart Dust)

(출처: michigan.edu)

적에게 고의로 제공하면 적이 정보 분석을 위해 사용하는 위치가 식별되므로 적 집결지 또는 지휘소 위치를 파악해 낼 것이다. 이러한 체계는 연속적으로 자동화된 적 접근 징후 분석과 아군에게 조기 경보하여 화력 및 기동 자산이 효과적으로 운용 될 수 있도록 할 수 있을 것이다.

### 2.2.2 화력기능

화력 기능은 타격을 위한 표적 정보의 획득은 정보기능을 통해 수집되고, 타격 수행간 타격제원 산출은 텔레매틱스(Telematics: 통신과 정보과학의 합성어)를 기반으로 기상제원, 표적 정보, 비에 내장된 누적 장비 마모 특성, 자신의 공간정보, 오차율 등이 결합되어 사격제원 자동으로 산출된다. 또한 각 화기별 RFID(Radio Frequency Identification)가 부착된 단위 포탄을 사용하여 일정 수준 이하의 포탄 재고시 전투 간에도 자동 경보를 제공하는 네트워크를 통하여 탄약보급소에 전달됨으로써 위치 정보와 탄약고 내에 탄약 보유 수준을 원격파악하여 최적의 재보급 시기와 방법과 소요량을 자동 결정하는 탄약 자동 보급한다. 별도의 검토 및

분석과정 없이도 자동 출력된 지시서에 의해 연속적인 탄약 재보급에 의한 지속 타격 능력들 제공할 것이다. 또한 타격 후 피해결과 판단(BDA: Battle Damage Assessment)은 현재까지는 위성영상이나 공중정찰 자산이 제한되어 주로 육안식별을 통해 이루어졌다. 하지만 전장체계에서는 개별포탄 또는 독립적으로 투발되는 센서에 의해 결과가 수집되어 네트워크를 통해 사격부대와 지휘소에 동시 전달함으로써 재사격 또는 추가 사격 여부를 신속히 결정한다.

### 2.2.3 기동기능

현재 근거리에서 구두문답 수준에 머물고 있는 피아 식별은 함정이나 항공기에 적용된 IFF(Identification Friend or Foe: 피아 식별장치)와 유사한 개념의 자동 식별로 대체한다. 네트워크를 통하여 연결된 후 디지털 전사의 고글형 디스플레이를 통하여 자동식별을 제공하는 것이다. 전술 C4I(Command, Control, Communication, Computer, Intelligence)의 일환으로 적용이 진행 중인 전장 위치보고 체계는



〈그림 2-4〉 IFF에 의한 피아 자동식별

(출처: 한화시스템)

현재 일부 부대의 위치 확인 수준으로 이루어지고 있지만, 디지털 병사가 착용한 장비에 의해 자동적으로 네트워크 통해 전송이 이루어짐에 따라 모든 병사의 위치 및 기동방향을 제공한다. 즉 디지털 지도에 표시하여 개인 차원으로까지 확대될 것이고, 신속한 전투 진행 및 기동속도의 가속화에도 불구하고 낙오자 발생을 최소화 할 것이다. 또한 개별 지뢰는 스마트 먼지와 유사한 형태의 통신센서가 내장되어 원격조정과 지뢰지대를 구성하고, 교전이 종료된 후에는 아군과 민간인의 피해를 줄이기 위해 자폭 또는 후속부대에 위치 정보를 제공함으로써 차후 지뢰 제거가 용이하도록 할 것이다. 이러한 원격 장애물 체계는 지뢰뿐만 아니라 교량 터널의 거부에도 효과적으로 활용될 것이다.

#### 2.2.4 방호기능

방호기능은 전장의 기동장비, 주요지점, 지휘소 주변에 설치된 다수의 화학 탐지수단이 자동으로 위험 여부 판단하여 반경 내에 아군에게 경보하여 피해를 예방하고, 신속한 제독조를 투입 및 지시하게 할 것이다. 또한 적 항공기에 대한 대공경보 신속히 개인에게까지 전파되어 피해를 최소화하고, 개별 대공무기체계에 장착된 소형 디스플레이어를 통해 사격제원 및 시기를 제공하여 국지방공에 효과적인 운용을 가능하도록 할 것이다. 또한 주요 핵심 시설에는 휴대용 피아식별장치가 배치하여 형상 또는 열감지 등을 통해 1차적인 인원의 접근을 식별 및 통제하고, 아군 고유의 RFID신호를 제공하지 못하는 경우에는 위치 및 경보를 제공하여 적 특수 작전부대의 침투 시 조기 포착과 타격하도록 하여 안정된 부대운용을 가능하도록 한다.

#### 2.2.5 전투근무지원기능

전투근무지원기능은 파렛트, 컨테이너, 기동장비 등에 RFID가 부착하여 보급품의 현황과 이동 상황을 실시간 모니터링이 가능하도록 하고, 디지털 병사의 옷에 부착된 센서는 각 병사의 체온, 맥박, 혈압 등 신체상황 감지하여 부상여부 또는 부상정도를 지휘소로 전달하여 종합된 부대 전투력 수준과 작전 한계점을 판단하는 자료로 활용한다. 또한 아군의 피해 정도에 따라 구호반 및 대량 사상자 처리반의 투입 여부를 지원한다. 특히, 시범적용한 RFID가 부착된 탄약관리로 증명했듯이 전장 환경에서 효과를 발휘하게 될 것이다.



〈그림 2-5〉 RFID 적용 신형 동계 함상복 형상

(출처: 국방기술품질원)

### 2.2.6 지휘통제기능

지휘소를 중심으로 제반 전장기능을 통합하고 상황판단 및 지휘결심을 통하여 화력 통제를 한다. 이를 위해서는 전장기능에 연결된 다양한 통신망을 유지하게 되는데 BcN(Broadband convergence Network)을 통해 네트워크 통합력을 강화한다. 본래 전술제대에서 기동을 하면서 지휘소를 이동하게 되는데, 이때 지휘소 이동 간 지휘통제의 지속적인 유지가 대단히 어려운 과업이다. 또한 이것이 잘못 수행되었을 경우에는 작전 수행중에 상황에 따라 신속한 부대의 재배치 등의 전술적 변화에 악영향을 미치게 된다. 그리고 모자이크전 시스템이 구축되면 개별장비와 주요 공간에 설치된 무인 센서에 의해 수집된 정보가 즉각적으로 지휘소에 제공되어 전투수행 시 의사결정이 신속히 이루어 질 것이다. 이러한 지속적인 전투수행 과정에서 먼저 보고, 먼저 결심하고, 먼저 타격하는 형태의 작전속도가 축소된다. 또한 정보의 전파를 통해 진행 중인 상·하·인접부대의 모든 상황을 실시간으로 파악하여 상급 지휘관과 동일한 수준의 정보를 제공받을 수 있다. 그리고 예하부대 지휘관들에 대한 권한 위임, 분권화는 더욱 그 효력을 발휘할 수 있을 것이다.

### 2.2.7 전장 6대 기능의 승전요소 분석

전장 6대 기능은 정보, 기동, 화력, 방호, 전투근무지원, 지휘통제이다. 승전요소는 “The comparison of combat function priorities in future manned/unmanned infantry troops: Focusing on the use of AHP”, 선진국방, 2021.의 자료를 바탕으로 승전요소를 아래와 같이 분석 및 제시한다.

- ① 정보기능은 첩보 및 정보를 적시에 제공하여 적으로부터 정보의 우위를 달성하고, 효율적인 전투력을 보장하는 기능을 수행한다. 이를 위해 정보기능을 수행하는 부대 또는 부서는 다양한 감시 및 정찰 수단을 통합 운용하여 적보다 먼저 보고, 작전상황을 오판할 수 있도록 유도하기 위한 정보작전을 수행한다.
  - 전장 가시화 능력 강화
  - 위험지역 정보활동
  - 조기 경보시스템 유지보수
  - 위험 감수
- ② 기동기능은 부대이동 및 배치를 통해 아군에게 유리한 지형 여건을 조성하고 적의 활동을 방해하는 기능을 수행한다. 이를 통하여 적에게 불리한 지형이나 배치를 강요하고, 작전의 속도를 적절히 배합하여 결정적 작전의 시간과 장소에서 상대적 우위를 달성한다.
  - 전장 상황 변화
  - 반격 능력
  - 작전영역 확장
  - 정찰 및 순찰
  - 장애물 감지, 제거, 차단
- ③ 화력기능은 적의 심장부를 파괴하기 위해 화력을 집중할 수 있도록 화력 우세를 달성하고, 기동부대의 기동이 원활하도록 여건을 조성하는 역할을 수행한다.
  - 위협이 높은 전략적 목표물에 대한 공격
  - 복합 타격 시스템 구축
  - 화력 감소
  - 화력 지원

- ④ 방호기능은 생존성을 증가시키고, 적의 기습을 방지하며 행동의 자유를 보장하여 전투원의 심리적인 안정을 증대시키는 기능이다. 또한 작전 보안 활동, 국지 경계 등을 통하여 생존성을 증대시키고 전투역량을 보존하게 한다.
  - NBC 정찰 및 해독
  - 지뢰 탐색 및 제거
  - 적 공격 상황 공유
  - 경계 병력 감소
- ⑤ 전투근무지원 기능은 제반 자원 및 근무를 제공하여 작전 지속능력을 유지하고 무형전력 발휘에 기여하는 기능이다. 또한 작전에 필요한 제반자원을 제공하여 요구되는 적정 전투력을 유지시키고, 작전 수행 간 지속적인 전투력 복원을 지원하여 작전 지속능력을 보장하게 한다.
  - 소부대 전투근무지원
  - 환자 후송
  - 유지 보수 및 지원
- ⑥ 지휘통제기능은 지휘관이 작전을 지휘하고 전장기능과 작전요소를 통합하여 의사소통을 가능하게 하는 기능이다. 또한 전장기능의 제요소들과 작전기능을 유기적으로 통합, 조정, 협조시켜 전투력 발휘를 극대화한다.
  - 전장 정보 실시간 파악
  - 지휘 및 판단력
  - 명령과 통제의 연속성 보장
  - 지휘통제 전투원 지원

추가적으로 모자이크전의 개념을 전장 6대 기능과 함께 분석하면, 정보기능에서 적의 정보를 수집한 가운데 그 패턴을 분석하여 향후 적의 움직임 공격 및 방어전술을 예측할 수 있다. 전장에서 발생되고 있는 수많은 정보를 데이터화하여 인공지능에 의한 정확한 적의 동태와 정보를 수집하는 것이다. 기동기능은 고정되어 있는 지리적 요소를 아군에게 가장 이롭게 활용할 수 있도록 환경을 조성하는 것이다. 즉, 적의 상황과 아군의 상황 그리고 날씨 등을 종합적으로 고려하여 기동기능을 아군에서 가장 유리하게 만들고 기동기능을 적보다 우위에 둘 수 있도록 하는 것이다. 화력기능은 모자이크전의 특성인 분산된 전력을 집중 타격을 위한 집

중화를 하고, 아군의 기동부대가 진행하고자 하는 방향에 장애물이 발생되지 않도록 여건을 조성한다. 방호기능은 아군의 생존성을 보장할 수 있는 최적의 전술방안을 수립하고, 때에 따라 아군의 희생이 있을지라도 전쟁을 승리 한다면 희생할 수 있다는 요소를 고려한다. 전투근무지원은 피지원부대가 작전지속능력을 유지하기 위하여 가용한 제반능력을 제공하는데, 최적의 방안을 도출 할 수 있는 요소를 지원한다. 지휘통제기능은 지휘관이 최적의 의사결정을 할 수 있도록 정확한 아군과 적 상황을 제공할 수 있도록 한다. 특히 시시각각 변화하는 전장환경에 지휘관의 부정확한 의사결정은 아군에게 치명적인 피해를 입힐 수 있기에 모자이크전은 통해 전장 6대 기능이 보완될 것이다.

## 2.3 삼위일체 이론에 입각한 분석<sup>10)11)</sup>

클라우제비츠는 아래 그림과 같이 삼위일체론을 통해 전쟁이란 폭력적인 감성, 우연성, 정치적 도구로서의 이성으로 기본적 구성된다 정의하고 이를 다시 국민, 군대, 정부라는 현실에 투영하여 예를 들어 설명하고 있다. 그리고 이 3가지 경향이 어느 한쪽으로 기울지 않고 균형을 이루어야 하나의 통합적 삼위일체가 된다는 것이다. 만약 삼위일체의 이 3가지 경향들이 상호작용간 마찰은 전쟁으로 이어지지만, 동시에 합리적 전쟁 목적을 갖게 된다. 각 경향과 승전요소 구체적으로 살펴보면 아래와 같다.



〈그림 2-6〉 클라우제비츠의 삼위일체

10) 북한의 제4세대 전쟁에 대한 한국군 대응방안(북한의 무력도발 후 수세로 전환 시를 중심으로), 군사연구, 신종필, 2021. 참고

11) 클라우제비츠의 삼위일체론을 통한 사이버공간 전쟁 해석 연구, 이한희

### 2.3.1 삼위일체의 감성(국민)과 승전요소

감성 요소 측면에서의 현재의 전쟁양상 및 특징으로 보면 국민을 기반으로 하는 것이다. 과거 전쟁은 국민요소에 큰 비중을 두지 않았다. 이전 시대에서는 국민요소를 전쟁이나 분쟁에서 분리하였지만, 현재는 국민 즉, 주민을 기반구조로 하는 특징이 있다. 범죄집단, 테러조직 등과 같은 비국가적 행위자들은 주민의 지지를 중요시한다. 비국가적 행위자들은 지역주민에 침투하여 민심을 획득하고 그들의 기반한 점진적 확충 통해 나간다. 즉, 지역주민을 기반을 하다보니 민간인도 누구나 범죄집단 및 테러조직에 전사가 되어 군인과 같은 역할을 수행한다. 이러한 전사들은 문화적, 종교적 신앙에 심취하게 되면 자살 공격도 서슴지 않게 범하게 된다. 그 공격 대상은 정부뿐만 아니라 민간인도 포함된다. 이는 국제법적으로 정당하지 못하여 과거부터 현재까지 전쟁 수행 간 민간인에 대한 학살이나 테러 등은 국제적 비난의 대상이 되었다. 그러나 현재 비국가적 행위자들은 그들의 목적 즉, 상대방에 정책결정자들의 정치적 의지를 약화시키기 위해 민간인을 목표물에 포함시키고 있다. 미군이 이라크나 아프가니스탄 전쟁에서 직면한 위협 중의 하나가 민간인에 의한 끊임없는 자살테러일 것이다. 이때 승전요소는 아래와 같이 도출할 수 있다.

- 전쟁에 대한 국민의 지지 방향
- 공격자에 대한 증오 및 적개심
- 정치와 군사지도부에 대한 국민의 인식
- 지지 및 지원 세력
- 국민이 생각하는 전쟁과 안보의식
- 안전한 사회를 만들기 위한 노력
- 전쟁에 대한 조직 간 공조의 노력

### 2.3.2 삼위일체의 유연성(군대)과 승전요소

유연성(군대) 요소 측면에서 현재 전쟁의 양상과 특징으로 보면 전쟁수행 수단과 방법의 비대칭성이다. 이전 시대에서는 군대는 정부와 함께 전쟁에서 차지하는 비중이 크게 작용했다. 즉, 정치적 목적을 달성하기 위하여 군사력을 수단으로 활용했다. 그러나 현 시대에서는 군대가 전쟁의 승패에 있어 결정적인 것은 아니다. 해리 서머스(Harry G. Summers)가 언급한 바와 같이 현시대의 전쟁에서는 전투가

아닌 전쟁에서의 승리를 목표로 추구하고 있다. 즉 비국가적 행위자들은 이라크 전쟁, 아프가니스탄 전쟁, 걸프 전쟁 등 미국이 수행한 많은 전쟁을 통해 군사력으로 정면 대결을 해서는 전쟁에서 승리할 수 없다고 인지하고 있다. 비국가적 행위자들은 체첸, 보스니아, 이라크, 아프가니스탄에서 현실 전쟁 수행간 적대국을 어떻게 대항해야 하는지 충분히 교훈을 도출하였기 때문이다. 결과적으로 장기적인 접근을 통해 게릴라전과 같은 다양한 전술을 적용하여 전쟁하고자 하는 것이다.

전쟁의 수단 및 방법 면에서도 군사력만으로 운용하는 것이 아니라 다양하게 접근, 적용하고 있다. 비국가적 행위자들이 수행하는 수단과 방법은 적대국에 비해 군사력 등 노출된 전투력이 약하기에 비대칭적으로 수행한다. 전쟁수행 대상을 군인, 테러조직, 범죄집단, 민간인 전사 등으로 다양하게 수행할 수 있도록 하고, 전장의 범위는 공격자와 방어자 간에 명확하게 구분 없이 전 세계로 퍼져 있다. 또한, 이들은 도심지역을 선호하고 있다. 도심지역은 생존을 위한 필수품을 용이하게 획득하고 필요로하는 정보 수집과 전파가 수월하며, 은신처를 확보함과 동시에 적대국에게는 제한된 화력 운용을 하게끔 하기 때문이다. 실제 이라크나 아프가니스탄에서 미군은 테러집단을 색출하기 위한 도심지역 작전에서 그들의 강점인 화력 사용에 제한을 받았다.

현 시대의 전쟁을 수행하는 방법을 보면 무기의 경우, 이전 시대에서는 군인들이 사용하는 무기가 대부분이었지만 현재는 일반 사회에서 쉽게 구할 수 있는 단순한 무기부터 대량 살상무기까지 사용된다. 또한 급조폭발물, 소총, 칼뿐만 아니라 미사일이나 화학무기에 이르기까지 다양하게 보유하고 있다. 결과적으로 그들의 공격 범위나 강도도 점점 다양해지고 강력해질 것이다. 이러한 무기를 사용하는 공격의 대상도 민간인, 정치인, 군인 등으로 다양하다. 또한, 이러한 비국가적 행위자들은 최첨단의 기술을 바탕으로 전 세계에 광범위한 네트워크를 구축하여 정보를 공유한다. 전 세계적으로 분산되어 있는 조직을 원하는 목적에 따라 조직화하고 원하는 시간과 목표물에 대한 공격 후 다시 분산하는 광범위한 개념의 분산 작전을 실행한다. 그리고 비국가적 행위자 간에는 특정 목적을 위해 이해관계가 일치될 경우에는 하나의 네트워크로 조직화 되지만 이해관계가 없을 때에는 느슨한 관계가 유지된다. 그리고 현 전쟁은 군사, 정치, 경제, 사회, 문화, 기술 등 다양한 분야에서 발생되며, 하나의 분야에서 발생된 전쟁은 타 분야로 번져서 이 또한 전쟁의 촉발 요인으로 작용 되기도 한다. 예를 들어 화학 및 생물학 무기와 전

염병 같은 것을 사용한다면 이는 경제, 사회활동을 제한시켜 경제적 손실과 사회 활동의 위축시키는 등 큰 파장을 불러일으킬 수 있다. 이전 시대에 비해 현재는 더 복잡하고 광범위해져서 전쟁은 더 불확실성의 영역이 되었다. 위와 같은 내용을 바탕으로 승전요소는 아래와 같이 도출했다.

- 국가이익(정치적 목적)에 부합한 전쟁 목적 및 목표
- 전쟁 수행을 위한 군사동맹
- 전장에서 발생하는 불확실성 극복, 이용
- 예측을 불허하는 변화무쌍한 용병술
- 사이버공간 전쟁을 전략·전술적 관점 고려
- 군사 리더십

### 2.3.3 삼위일체의 이성(정부)과 승전요소

이성(정부)요소 측면에서 현 전쟁의 특징을 고려해 본다면, 국가 대 비국가적 행위자 간의 전쟁, 장기전 추구, 초국가적 결합 네트워크 등이다. 과거의 전쟁은 정부에서 국가이익을 달성하기 위하여 정치지도자들이 선정한 정치적 목적에 의해 전쟁을 수행했다. 이는 클라우제비츠가 정부에 의해 국가와 국가 간의 전쟁이 합리적이고 목적이 있는 전쟁을 통해 절대전쟁으로 치닫지 않게 한다는 내용을 잘 뒷받침하고 있다고 할 수 있다. 그러나 현 전쟁의 양상은 국가와 국가 간의 전쟁보다는 국가와 비국가적 행위자 간의 전쟁이 이루어지고 있다. 테러분자, 범죄집단, 종족, 종교집단, 반란세력 등과 같은 비국가적 행위자들이 추구하는 목적은 일반적으로 국가가 전쟁에서 추구하는 목적과 차이가 있다. 이들이 추구하는 목적은 비대칭적인 목적을 추구한다. 국가의 전쟁은 영토의 회복, 장악, 적 부대의 격멸, 정권 회복 등을 목적으로 했지만, 비국가적 행위자들은 그들이 속한 조직 및 집단의 존속을 유지하는 것을 포함하고 대부분이 정권을 획득함에 목적을 두고 있다. 또한 국가들은 단기간의 전쟁을 통해 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻기를 원하고 최소의 인적, 물적 피해로 전쟁에서 승리를 추구한다. 이에 비해 비국가적 행위자들은 장기전을 추구한다. 이러한 장기전을 수행하는 것은 국민의 지지를 기반으로 상대방의 정책결정자들의 정치적 의지를 약화시킴으로써 내부 붕괴를 유도하고 궁극적인 목적을 달성하려 하기 때문이다. 이러한 장기전 추구는 비국가적 행위자에 대응하는 상대방에게는 매우 힘든 전쟁을 강요한다. 비국가적 행위자들은 장기

적인 전략을 수립하여 상대방의 정책결정자들의 정치적 의지가 약화 될 때까지 지속적으로 다양한 전술을 구사하고 있다. 즉 비국가적 행위자들은 군사력 운용을 통해 굳이 전투를 이길 필요가 없다. 그들은 상대방의 정치적 의지가 약화 되고 스스로 포기 및 철수할 때까지 소규모의 전투만 지속하면 된다. 또한, 비국가적 행위자들은 느슨하게 결합 및 구축되어 있다. 이러한 네트워크는 쉽게 붕괴되지 않는 탄력성을 갖고 있다. 이들의 계층적인 체제를 가지고 있지 않아 조직이나 집단의 1인자가 사망 또는 전투에서 패배하더라도 일정 시간이 지나면 해당 조직, 집단이 다시 정상적인 수준이 된다. 위 내용을 바탕으로 승전요소는 아래와 같이 도출할 수 있다.

- 전쟁 공간이 따른 정부·군대·국민에 미치는 영향
- 정치 목적과 전쟁 명분의 정당성
- 정치 목적을 구현할 수 있는 정책과 전략
- 전쟁지도 능력
- 주변국과 공조 및 협력
- 전쟁을 지속할 수 있는 정치적 의지
- 사이버공간 전쟁 공격주체 식별 노력
- 전쟁의 적대의도 파악 노력
- 국민에 대한 정부의 전쟁 인식 교육

### 2.3.4 클라우드비츠의 삼위일체론과 모자이크전

클라우드비츠가 제시한 삼위일체론의 기본적인 면을 보면 이성요소로서 제시한 국가의 의미는 모든 종류의 사회적 집단을 의미하기 때문에 현 전쟁에서 말하는 비국가적 행위자들도 국가의 범주에 포함시킬 수 있다. 과거에는 상대방의 정치적 목적에 대한 분석이 어느 정도 가능하였지만 현 전쟁 양상에서는 비국가적 행위자들의 목적을 분석하기가 오히려 더 어렵다. 따라서 정부 요소는 전쟁을 합리적 목적으로 수행하기 위해서 현재의 전쟁 양상과 특징을 고려하여 어떤 대상 국가나 조직에 한정하기보다는 초국가적 차원에서 지역적 협력을 통하여 비국가 행위자들의 네트워크를 차단하고 자원의 제공을 저지해야 한다. 현 전쟁은 이전 시대의 전쟁양상과의 차이점과 클라우드비츠의 삼위일체론의 관점에서 현실 전쟁의 특징을 분석했다. 그리고 현 전쟁은 삼위일체 중에서 군대요소보다는 국민과 정부요소에

비중이 상대적으로 크다고 분석을 했지만 클라우제비츠가 전쟁론에서 언급했듯이 3가지 요소가 균형을 통해 합리적인 전쟁이 되도록 하는 것이 중요하다.

위 클라우제비츠가 제시한 삼위일체론을 입각하여 모자이크전의 특성을 고려한다면 삼위일체는 전쟁을 3개 요소가 균형적으로 유지, 관리하고 각 요소를 빅데이터화 하여 현상을 이해할 필요가 있다. 이성의 속성을 지니고 있는 정부가 국민과 연계된 증오심과 적개심으로 확대되어 가려는 성질을 관리하며, 우연성이 지배하는 전쟁 상황하에서 군대가 승리를 통해 전쟁을 확대하려는 과도한 용기의 성질을 관리한다는 것이다. 따라서 삼위일체론의 요소들을 하나의 단위로 보는 것 뿐만 아니라 통합하여 관리하여 정부는 이성에 의해서 폭력의 무제한적 무질서의 혼돈상태를 통제된 폭력으로 균형을 유지하고 전쟁을 정치적 수단으로 이끌어 가야 한다. 특히 국민·군대·정부를 각 요소를 정량적이면서 정성적으로 분석하고 관리하면서 균형이 깨어지지 않도록 해야 한다. 모자이크전을 통해 각 성질이 다른 각 요소를 균형을 잡아줘야 하는 것이 승전요소일 것이다. 각 요소 각 요소를 분석하면서 제시했다.

### 3. 정책 제언 및 기대효과

#### 3.1 모자이크전 적용을 위한 정책 제언

##### 3.1.1 모자이크전 적용 타당성과 거시적 군사력 건설

우리 한국군도 모자이크전에 대하여 관심이 점차 증대하고 있다. 최근 국방부와 국방과학연구소는 다영역·다차원 작전에서 개별 플랫폼들을 분산 및 적응형 킬 웹을 기반하여 아군의 전투력을 신속하고 유연하게 구조 및 재구조화 하여 전투원의 생존성을 극대화 시키고자 한다. 적에게는 우군의 작전수행 방해 예측을 저지함과 동시에 이를 통한 치명적인 타격을 주는 모자이크전이 미래 국방안보의 핵심이 될 것이라 예측하고 있다. 특히 미래 전방위 위협을 적극적으로 대비하기 위해 군집화, 무인화, 지능화, 자율화 등 최첨단 군사 과학기술에 기반하여 한국형 모자이크전(K-Mosaic Warfare)을 구축할 것이라 밝혔다. 물론 현재 적용 및 운영하고 있는 네트워크중심전과 같은 전통적인 방식의 전쟁수행 개념이 등장때에도 긍정적인 평가와 비판은 함께 있었다. 비판적 평가로 모자이크전 평가하면 현재 인공지능 기술성숙도 정도가 군에 적용하여 구현 가능한지에 대한 의문점이 있을 수 있다. 그리고 적군의 상황에 아군의 따른 통합과 분산을 적절히 실행할 수 있는지에 대한 회의적 시각도 있을 수 있다. 또한 네트워크중심전이나 전 영역 동시통합작전과 같은 이미 추진 및 운영 중인 개념과의 유사성이 우리 군의 현실과는 맞지 않거나 단기적인 유행에 그칠 수 있다는 우려도 있을 수 있다. 이와 같은 회의적 시각은 당연하다. 하지만 4차 산업혁명시대의 군사 과학기술은 시대적 흐름이며, 회의적 시각에서 도출된 요소는 보완·발전시키면 된다. 이를 체계적으로 완성하기 위해서는 한국군의 군사력 건설 방향(정책)이 제시되어야 한다.

우선, 한국의 군사 환경에 관하여 면밀하게 분석한 내용을 바탕으로 미래전을 수행하기 위한 군사력 건설 및 운용개념의 정립이 필요하다. 미국의 모자이크전은 주된 등장 이유는 중국과 러시아의 안보위협에서 시작되었다. 중국과 러시아는 군사력을 현대화시킴으로써 과거 미국이 2차 상쇄전략을 통해 추진했던 ISR과 정밀 타격무기 등의 분야에서 미국과의 격차를 상당히 줄였다. 따라서 미군은 모자이크전이라는 새로운 미래전 개념을 통해 전력들을 소형화, 자율화하고 이를 분산 운

융합으로써 전투수행의 효율성을 극대화하고자 한다. 우리는 이를 통해 한국군이 처해 있는 상황을 면밀하게 분석할 필요가 있다. 특히 대한민국에 주된 위협은 누구이며, 해당되는 국가는 어떠한 군사력을 갖고 있고 전략은 어떻게 되는지 살펴야 한다. 이를 통해 한국군에게 한국형 모자이크전의 개념을 적용 타당한지를 봐야 하고, 그 기본 방향은 거시적으로 한국 군사력 건설 및 설계해야 한다. 북한 군사력의 특성을 고려한다면 중국과 러시아와는 달리 핵, 탄도미사일, 특수전, 방사포, 잠수함, 화학무기, 사이버전력 등의 비대칭전력 개발에 역량을 집중하고 있다. 이러한 비대칭 전력에 대응하기 위한 한국형 모자이크전이 현시점에 적절한지를 고려해야 한다. 만약 이를 실행하고자 한다면 아래 내용과 같이 내용을 정리할 수 있다.

첫째, 한미동맹과 연합작전 차원에서 모자이크전을 고려해야 하며, 미군 무기체계의 변화 역시 주목해야 한다. 최근 미군은 무인항공 분야에 있어서 항공우주력의 다변화에 많은 노력을 하고 있다. 또한 그레이 이글-ER 다영역작전을 시연함으로써 정확한 위치 정보 확보와 탄도미사일의 영역을 지대지에서 지대함으로 확대하였다. 그리고 극초음속 활공체(Common Hypersonic Glide Body)를 시험하였는데, 이 무기는 마하 5 이상의 극초음속으로 1,000마일 이상의 적 표적을 타격 가능하다. 뿐만 아니라 우주군과 우주작전사령부를 창설하는 등 우주 영역에 대한 장기적인 전력 확보에도 많은 노력을 기울이고 있다. 한미동맹을 바탕으로 지속 연합작전을 효율적인 수행하고 상호운용성 확보하기 위해서는 미군의 무기체계 변화와 우주 영역에서의 작전수행체계를 우리 역시 보다 많은 관심을 가져야 할 것이다.

둘째, 기존의 지휘통제 시스템에 인공지능을 결합하여 지휘관의 의사결정 속도를 단축 시키고, 한미 연합 전력을 수행함에 있어서 전장 상황과 임무에 따라 맞춤형으로 전력 조합이 가능하도록 적과 아군, 작전지역에 대한 정보를 빅데이터로 구축 및 인공지능을 활용해야 한다. 미군의 모자이크전을 바탕으로 한국형 모자이크전이 될 수 있도록 적합한 능력과 제원을 제공하고 지휘관의 지휘결심을 신속하고 선택의 폭을 넓혀줄 필요가 있다. 또한 북한의 탄도미사일이나 장사정포를 탐지, 타격할 수 있는 자율 무기체계를 도입하여 기존의 대화력전 수행체계의 미흡한 부분을 보완하는 방안을 검토가 필요하다. 특히, 대화력전 수행을 위한 연합 및 합동 화력 전력은 상당 부분 발전했지만 정확한 BDA를 산출하는 부분은 타국 대비 미

흡한 요소이다. 공군과 연합특수전사령부 자산만으로 정확한 BDA 산출이 제한된다는 점을 고려, 자율무기체계를 활용하여 BDA 평가 능력을 보완하는 방안을 제시할 수 있다. 또한 북한은 신경작용제 등 약 20종의 화학무기를 보유한 것으로 추정되는데, 이를 탐지, 제독에 있어야 무인화 및 자율화된 장비를 통해 인명피해를 최소화하는 방안도 검토할 필요가 있다. 그리고 북한의 특수전부대 침투 저지를 위한 GOP(General Out Post)와 해안 경계작전을 수행함에 있어서도 오인 관측과 보고 누락 등을 방지하기 위해 빅데이터와 인공지능을 활용한 감시 시스템(예: 지능형CCTV)에 고도화 및 도입하여 인간에 의해 발생할 수 있는 오류를 최소화하는 방안도 추진할 필요가 있다.

셋째, 미국과 중국의 군사전략 변화에 따라 한국군도 대응이 필요하다. 최근 남중국해와 동중국해에서 미국과 중국간에 군사경쟁이 점차 심화되고 있으며, 무력 충돌 발생 가능성도 점차 높아지고 있다. 모자이크전의 등장 배경에서 살펴보았듯이 모자이크전은 기본적으로 미국이 중국과 러시아의 군사적 도전에 대한 대응 차원에서 등장한 개념이다. 한국은 미국과 중국 간의 무력 충돌 발생에 대한 대응 방안을 사전에 계획 및 준비해야 하며, 한미동맹 강화를 통해 전략적 위치를 명확히 해야 할 것이다.

넷째, 성공적인 군사력 발전을 위해서는 미래의 전쟁을 준비할 필요가 있다. 미래를 위한 전쟁 준비는 기술적인 측면에서 미래에 벌어질 전쟁에서 사용될 군사과학기술을 포함한 군사력의 예측에서 시작될 것이다. 물론, 미래의 전쟁은 군사기술보다는 정치, 사회, 경제적 변화에 따라 전쟁의 양상 또는 형태 변화할 것이다. 즉 어떤 무기를 사용할 것인가보다는 어떤 전쟁을 수행하게 되는가에 집중하는 예측이 될 것이며, 군사력의 형태보다는 전쟁 수행방식과 목표 등이 핵심 사안으로 부각 된다. 자칫 군사혁신을 기술적인 측면으로만 접근하게 되면 보다 본질적인 요인을 간과하게 된다. 전쟁은 정치적 목적을 달성하기 위한 수단이라는 클라우제비츠의 명제는 전쟁의 수단인 군사력의 변화 뿐만 아니라 군사력 사용의 배경이 되는 전략적 환경의 변화에도 주목해야 함을 알려주고 있다. 향후 한국군도 군사력 발전을 추진함에 있어서 기술적인 측면만 볼 것이 아니라 군사전략의 목표와 수단, 수행방법 측면에서 종합적인 고려와 판단을 기초로 진행되어야 할 것이다.

다섯째, 한반도를 둘러싼 주변국의 잠재적 위협을 대비하는 차원에서 모자이크전은 해군과 공군의 전력 발전에 의미를 주고 있다. 해군과 공군의 경우에는 주변국

에 대비하면 우리 대한민국은 열세한 전력을 보유하고 있다. 하지만 한정된 국방 예산을 고려 시 열세한 전력을 극복하기 위해서 막대한 예산을 투입한다는 것은 각 군의 균형적인 발전 측면에서 문제를 야기시킬 수 있다. 오히려 주변국과의 전력 차이를 대칭적으로 극복하려 하기보다는 모자이크전과 같은 개념을 적극적으로 수용하여 소형화, 자율화된 전력을 개발하고 이를 분산 운용함으로써 비대칭적 우위를 추구하는 것이 현실적이라 할 수 있겠다. 함정과 전투기와 같이 플랫폼 위주로 전투력이 발휘되는 해군과 공군의 경우에는 병력 위주의 지상군보다 과학기술을 통해 보다 쉽게 적용할 수 있다는 측면에서 무기체계 분야에서 군사발전을 추진해 나가야 할 것이다.

### 3.1.2 한미 연합작전과 북한을 고려한 정책 방안

4차 산업혁명이라는 시대적 변화와 흐름속에서 창조적이고 발전 지향적인 군사력을 추진하는 것은 시각에 따라 다르겠지만, 시대적 소명일 수 있다. 그리고 미국은 한국의 유일한 동맹국이고 장차 한반도에서의 전쟁이 발발한다면 한미의 연합작전을 수행해야 된다는 점을 볼 때, 현재 미군이 발전시키고 하는 모자이크전이 한국군에 주는 의미 찾는 것은 매우 중요하다. 그리고 대한민국의 군사 환경에 부합되도록 분석하고 이를 바탕으로 미래전을 수행하기 위한 군사력 건설 및 운용개념의 정립이 필요하다. 미군은 모자이크 전쟁이라는 새로운 미래전 개념을 통해 전력들을 소형화 및 자율화하고 이를 분산 운용함과 동시에 전투수행의 효율성을 극대화하고자 한다. 반면, 한국의 경우 주된 위협은 북한의 비대칭전력 및 대규모 재래식 군사능력이다. 즉 한국군이 모자이크전의 개념을 수용한다고 했을 때 그 기본 방향은 북한의 위협 성격에 기초해야 할 것이다.

### 3.1.3 윤리적 문제에 대한 정책적 합의 필요

모자이크전은 단위별 전투보다 전쟁의 승패를 위해 인공지능에 의한 의사결정을 지원한다. 즉 전시 상황에 따라 아군의 전투력을 희생시킬지라도 전쟁의 승패를 위해 최적의 결정을 제안하게 되는 것이다. 이때 일부 전투원의 생존권의 중요도는 낮아질 수 있고, 불가피하게 전투원의 희생을 요구할 수 있다. 이때 윤리적 문제에 직면하게 된다. 대한의 조국을 수호하기 위해 전장에서 싸우는 전투원은 그 가치를 평가 할 수 없지만, 모자이크전은 이를 평가하고 지휘관의 의사결정을 지

원한다는 점에서 윤리적 문제에 직면하며, 이를 해소 할 수 있는 정책적 해결방안을 모색해야 한다.

### 3.2 기대효과

한미동맹을 바탕으로 완벽한 연합작전 수행을 위하여 점차 모자이크전에 대한 관심은 증가하고 있다. 이에 따라 본 연구는 국방의 비전 및 미래 전력발전 방향을 제시할 수 있는 초석이 될 것이다. 그리고 모호한 개념 속에서 진행되고 있는 모자이크전을 현실 세계로 구체화하기 위해 모자이크전의 특징을 분석하고 장점과 단점을 구분 및 제시했다. 또한, 현 한국군의 전력건설의 핵심 개념이었던 화력전, 기동전의 개념이 다영역 작전과 모자이크전으로 전환되는 것을 대응하고, 이를 통한 군사력 건설에 소요되는 국방예산 낭비를 해소 할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 제한된 국방예산 통해 지속적인 첨단 군사과학 기술을 연구하는 것도 중요하지만, 현재 한국군이 보유하고 있는 전력을 적 상황에 적시적으로 대응할 수 있도록 효율적 전투력 구성 및 재구성화 통하여 불필요한 예산낭비를 제거하는 것이다. 더불어 임무변수, 전장 6대기능, 클라우드제비츠 삼위일체에 의한 수많은 정보를 수집 및 빅데이터로 관리하고 인공지능에 의한 의사결정을 지원할 수 있도록 한다면, 급변하는 전장 환경에서 신속성과 정확성이 우수한 결심을 이끌 수 있다. 더불어 CSBA(Center for Strategic and Budgetary Assessments)에 의한 위계임에 의한 결과로 인공지능이 해결할 수 있는 영역이 최대 85%를 차지했고, 미래를 예측 및 추론하는 15%의 영역은 인간의 역할로 해결했다는 것은 2가지 의미를 갖고 있다. 인간만이 가지고 있는 경험과 추론 능력은 인공지능이 대체할 수 없는 영역이라는 것과 85%라는 영역을 해결할 수 있는 인공지능의 능력은 현재의 기술발전보다 향후가 기대된다는 것이다. 그리고 기존의 한국군 전력에 모자이크전 수행 개념을 적용시킬 경우에 아래와 같은 특징 제공이 기대된다.

첫 번째, 기능이 낮은 무기체계는 첨단 무기체계가 가지고 있는 고도의 기술을 요구하지 않은 상태에서 상호운용성이 가능하고, 새로운 기능의 무기체계가 기존 플랫폼에 통합시 많은 변화를 요구하지 않는다.

두 번째, 전통적인 단일 플랫폼 및 부대 편성과 대비하여 다양한 방식으로 전력을 운용할 수 있고, 이를 통해 지휘관 선택의 폭이 넓어진다.

세 번째, 전력 운용에 있어서 분산된 다양한 전력을 재조합하여 임무를 할당하기 때문에 적에게 아군의 전투수행방식 및 전력을 노출 시키지 않고 불안감을 더 해준다.

네 번째, 전력 운용에 있어서 다양한 형태와 방식으로 운용할 수 있기에 효율성이 증가된다.

다섯 번째, 효과적인 작전을 위해서 분산된 전력을 전장상황 및 표적 맞춤형으로 운용 가능하기에 불필요한 전력의 낭비를 줄이면서 더 많은 단위 전력으로 편성하여 운영이 용이하다.

결과적으로 본 보고서를 통해 제시된 분석 결과를 통해 우리군에 모자이크전을 적용 할 수 있는지 여부에 대하여 가능성을 제시했다. 또한 향후 이와 같은 유사 과제를 통해 지속 연구 및 발전시킴으로써 조국의 안보 강화를 기대한다.

모자이크전을 우리군에 적용 및 활용하게 된다면, 기존의 네트워크중심전에서 변화를 요구받게 될 것이다. 물론 그 과정에서 변화를 뒷받침 할 수 있는 근거가 추가 연구되어야 하겠지만, 네트워크중심전 역시 처음에는 우리군에 적용 타당성에 대하여 회의적인 시각도 많았다. 그렇다고 해서 모자이크전이 모두 우수하다는 것은 아니다. 단지, 이를 기반하여 현재 우리군의 작전운영 개념과 미래전을 대비하기 위하여 어떤 요소들이 추가 필요한지 그리고 어떤 부분을 발전시켜 하는지에 대하여 구체적인 논의를 본 연구보고서를 통해 시작이 되었으면 한다.

## 참고문헌

1. 4차 산업혁명 시대의 모자이크 전쟁(미국의 군사혁신 방향과 한국군에 주는 함의), 국방연구, 남두현 외 3명, 2020.
2. METT-TC에 의한 명량해전 승전요인 분석(전장 불확실성과 마찰요소를 중심으로), 군사연구, 이경식, 2015.
3. Mosaic\_Warfare, CSBA, BRYAN CLARK, DAN PATT, HARRISON SCHRAMM, 2020
4. SEM 및 SNA를 이용한 6대 전장기능이 협동작전능력에 미치는 영향분석, 배동수 외 2명, 한국경영공학회지, 2012.
5. 모자이크전 개념과 시사점, 국방논단, 박지훈 외 1명, 2020.
6. 모자이크전 수행 개념을 적용한 능동형 상황 탄력적 사이버 방어작전, 융합보안논문지, 엄정호, 2021.
7. 미래전을 대비한, 한국군 발전방향 제언(미국의 모자이크전 수행개념 고찰을 통하여), 해양안보, 장진호 외 1명, 2020.
8. 북한의 제4세대 전쟁에 대한 한국군 대응방안(북한의 무력도발 후 수세로 전환 시를 중심으로), 군사연구, 신종필, 2021.
9. 유비쿼터스 환경에서의 NCW 정보보호 대책, 정보보안논문지, 권문택, 2010.
10. 전술적 고려요소 (METT+TC)의 세분화 및 우선순위 결정에 관한 연구, 디지털융복합연구, 한승조 외 1명, 2016.
11. 클라우드비츠 삼위일체의 현대적 해석, 군사연구, 김태형 외 1명, 2020.
12. 클라우드비츠 전쟁론의 연평해전 적용성, 현대 해전사연구 세미나, 윤석준, 2000.
13. 클라우드비츠의 삼위일체론을 통한 사이버공간 전쟁 해석 연구, 이한희 외 1명, 융합보안논문지, 이한희 외 1명, 2018.



연구보고 2022

---

# 첨단 무기체계의 비용분석 기법 발전방안

이용복

2022. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	65
1. 연구 개요 .....	67
1.1 연구 배경 .....	67
1.2 연구 목표 및 방법 .....	69
2. 무기체계 비용분석 동향 .....	70
2.1 무기체계 비용분석의 역사와 현재 .....	70
2.2 첨단 무기체계 관점에서 전통적인 비용분석 방법의 한계 .....	75
2.3 상용 비용추정 전산모델 특성 및 제한사항 .....	78
3. 첨단 무기체계 비용분석 발전방안 .....	83
3.1 True-Planning 모델 특성 분석 .....	83
3.2 AI 체계 개발·획득비용의 핵심 비용인자 식별 .....	87
3.3 AI 무기체계 비용분석 발전방안 .....	96
4. 결론 및 향후 연구방향 .....	102
4.1 시사점 및 기대효과 .....	102
4.2 향후 연구방향 .....	103
참고문헌 .....	104

## 그림목차

〈그림 1-1〉 신속 시범 획득제도 개념(www.kbiz.or.kr) .....	68
〈그림 2-1〉 수명주기에 따른 적정 비용추정 방법론 .....	72
〈그림 2-2〉 획득 초기 단계에서 비용추정의 특성 .....	74
〈그림 2-3〉 비용추정과 불확실성과의 관계 .....	74
〈그림 2-4〉 Two Eras of Compute Usage in Training AI Systems .....	77
〈그림 2-5〉 Cost to Train a Neural Network(ResNet-50) .....	77
〈그림 2-6〉 AI 학습용 사진 분류 비용 변화 .....	78
〈그림 2-7〉 PRICE 모델을 이용한 비용추정 과정 .....	81
〈그림 2-8〉 PRICE 모델의 비용추정 단계별 주요 비용인자 .....	82
〈그림 3-1〉 True-Planning 모델의 비용추정 개념 .....	84
〈그림 3-2〉 8대 국방전략 기술 .....	88
〈그림 3-3〉 AI 개발 프로젝트에 소요되는 시간 비율 .....	92
〈그림 3-4〉 기술 수준과 투입 노력의 관계 .....	94

## 표 목 차

〈표 2-1〉 문헌상의 비용분석 정의 .....	70
〈표 2-2〉 문헌상의 비용추정 정의 .....	71
〈표 2-3〉 주요 비용분석 방법별 특성 및 한계 .....	73
〈표 2-4〉 하드웨어 중심의 비용인자 사례 .....	75
〈표 2-5〉 4차 산업혁명 기반 신기술 사례 .....	76
〈표 2-6〉 파라메트릭 비용추정 모델 발전과정 .....	79
〈표 2-7〉 주요 파라메트릭 비용추정 모델 특성 비교 .....	80
〈표 3-1〉 True-Planning 모델의 비용추정 특징 .....	84
〈표 3-2〉 True-Planning 모델의 주요 메뉴 .....	85
〈표 3-3〉 True-Planning 모델의 세부 비용요소 .....	86
〈표 3-4〉 True-Planning 모델과 PRICE 모델 특성 비교 .....	87
〈표 3-5〉 4차 산업혁명 기술적용 전력 중 AI 기술을 핵심기술로 요구하는 체계 ·	89
〈표 3-6〉 AI 개발 단계별 개발인력 비율 추정 사례(단위 %) .....	95
〈표 3-7〉 AI 개발 비용 사례 .....	96



## 요 약 문

국방 분야에서는 미래전장에서 게임체인저 역할을 할 수 있는 AI, 드론, 로봇, 자율 무기체계 등 4차 산업혁명 기술 기반 첨단 무기체계 도입을 매우 활발하게 추진하고 있다. 국방 비용분석 분야는 그동안 전차, 항공기, 함정 등 전통적인 무기체계 관점에서 비용분석 방법이 발전되어 왔다. 그러나 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자의 특성이 기존과는 차별되는 첨단 무기체계 비용분석 방법 발전에 대한 연구는 미흡하였다.

본 연구는 AI 무기체계를 중심으로 첨단 무기체계 비용분석 관점에서 현재의 비용분석 제도와 방법에 대한 장단점 고찰을 통해 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전방안을 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 첨단 무기체계 관점에서 현재 사용하고 있는 비용분석 방법의 제한사항을 분석하였다. 이를 위해 대표적인 비용분석 방법인 공학적 추정법, 유사 장비 추정법, 전문가 추정법, 파라메트릭 추정법에 대한 개념과 장단점을 분석하였다.

둘째, 첨단 무기체계에 대해 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자를 식별하였다. 특히 AI 무기체계의 핵심 비용인자를 식별하기 위해 국방 분야 AI 기술 적용현황과 AI 체계 개발 절차를 요약하고, AI 체계 개발에 소요되는 비용변화를 고찰하였다. 이를 통해 AI 무기체계의 핵심 비용인자를 데이터 관리, AI 기능 개발, AI 개발 프로젝트 복잡성, AI 체계 복잡성, 사이버 보안으로 식별하고 정의하였다.

셋째, 국내에서 가장 많이 활용하고 있는 PRICE 모델의 특성과 제한사항을 연구하여 첨단 무기체계 비용추정 때 해당 모델 사용에 대한 재검토 필요성을 제시하였다. PRICE 모델의 적정 대안 제시를 위해 True-Planning의 특징, 장단점을 PRICE 모델과 비교하여 제시했다.

넷째, 첨단 무기체계 비용분석 발전방안을 AI 무기체계를 중심으로 제도와 방법론 분야로 제시하였다. 제도적인 측면에서는 AI 무기체계 수명주기 비용추정을 위한 지침 제정 필요성과 AI 비용추정 간 민간 분야의 벤치마크 활용을 위한 제도적인 장치 구비 필요성을 제시하였다. 방법론적인 측면에서는 첨단 무기체계 비용분석 방법 연구 활성화 필요성, AI 무기체계 개발을 위한 데이터 준비 수준을 비용에 반영하는 방법론에 관한 연구 필요성, 비용분석 방법에 대한 지식공유 체계 구

축 필요성을 제시하였다.

본 연구를 통해 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전 필요성과 제도적 개선 필요성에 대한 공감대가 형성될 수 있을 것으로 기대한다. 다만, 본 연구의 범위를 초과하여 수행하지 못한 다음의 내용이 추가 연구될 필요가 있다.

첫째, 상용 비용추정 전산모델인 PRICE 모델 사용 타당성에 관한 체계적인 연구가 필요하다. 이를 통해 첨단 무기체계 비용추정 시 PRICE 모델을 사용하는 경우 비용분석가들이 해당 모델의 제한사항을 공유하고, 필요시에는 PRICE 모델을 대체할 수 있는 대안을 모색할 수 있는 기회를 창출할 수 있을 것이다.

둘째, AI 무기체계의 개발 및 양산, 운영유지 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자는 AI 무기체계 유형과 요구 수준에 따라 매우 다양하다. 따라서 AI 체계를 기능별로 세분화하고, AI 체계 개발 방법과 형태 등을 그룹화해서 각각의 평균 비용을 추정하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

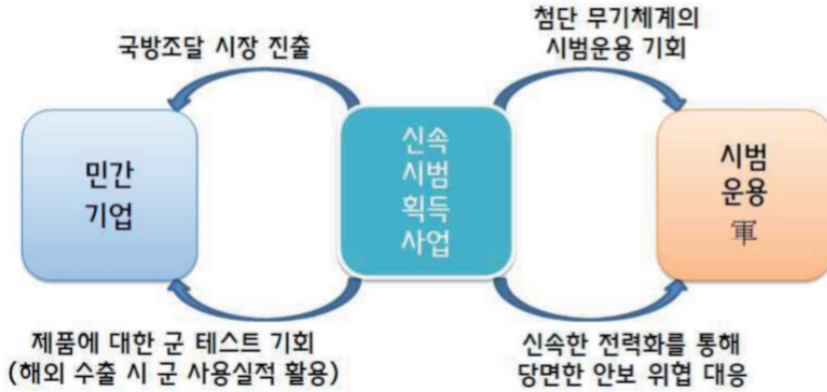
# 1. 연구 개요

## 1.1 연구 배경

4차 산업혁명 시대의 전쟁 양상은 전장공간·전투수단·전투수행 방법 등 전장환경 전반에서 대변혁이 진행되고 있다. 공간적인 측면에서는 전통적인 육·해·공 3개 영역에 비전통적인 사이버 공간과 우주 공간이 포함된 다영역으로 확장되면서 시간·인지·심리영역 등으로 확대되고 있다. 전투 수단 측면에서는 인간의 통제 대상이었던 무기체계들이 지능화되어 인간과 협업하는 유무인 복합 전투체계로 전환하고 있으며, 신개념·신소재·신에너지 무기체계가 개발되고 있다. 전투수행 방법 역시 유무인 복합 전투체계에 기초한 인간 대 인간, 인간 대 로봇, 로봇 대 로봇 등으로 전투 주체와 대상에 따라 변화하고 있다. 무기체계는 인공지능(이하 AI), 센서, 네트워크, 로봇, 네트워크 등 첨단 과학기술 발전이 가속화되면서 초네트워크화, 장사정화, 고위력화, 극초음속화, 스텔스화, 정밀화, 자동화, 자율화, 무인화 추세로 발전되고 있다.

이러한 추세에 따라 국방 분야에서는 미래전장에서 게임체인저 역할을 할 수 있는 AI, 드론, 로봇, 자율 무기체계 등 4차 산업혁명 기술 기반 첨단 무기체계<sup>1)</sup> 도입을 매우 활발하게 추진하고 있다. 이를 위해 2020년부터 국방부에서는 무기체계 획득체계를 기존 획득체계와 신기술의 신속한 도입을 위한 획득체계로 구분하여 획득 절차 및 주기를 단축하기 위해 노력하고 있다. 특히 4차 산업혁명 분야 등 기술 발전 속도가 빠른 분야에 대해서는 <그림 1-1>에서처럼 업체 제안을 통해 빠르게 구매하여 소요제기 이전에 먼저 시범 운용하는 신속시범획득 제도를 2021년부터 도입하여 AI 음원 활용 경계체계, 레이다 활용 경계 시스템, AI 기반 중요 시설 경계 시스템, AI 기반 TOD 등 20여 개 이상의 사업을 활발하게 추진하고 있다.

1) 4차 산업혁명 기술 기반 첨단 무기체계 : AI, Big data, Cloud Computing, Hyper-connected Network, Mobile, IoT 등 네트워크, 통신 기술, 빅데이터 분석기술로 크게 나뉘는 4차 산업혁명 기술과 기존 무기체계의 전투 능력이 결합한 무기체계를 의미한다. 예를 들어 AI 기반 전장관리체계, 초소형 정찰 드론, 자율 무기체계 등이 있다.



〈그림 1-1〉 신속 시범 획득제도 개념(www.kbiz.or.kr)

그러나 현재의 무기체계 비용분석 방법은 비용에 핵심적인 영향을 미치는 요인 (Cost driver, 이하 비용인자)<sup>2)</sup>이 기존 무기체계와 다른 첨단 무기체계의 비용을 추정하고 분석하는 과정에서 한계점을 내포하고 있다. 즉 현재의 비용분석 방법은 무기체계의 공통 요인을 하드웨어 중심의 주요 비용인자로 사용하면서 비용을 추정하는 단위 역시 하드웨어 관점에서 구분한 비용분할구조(EBS ; Estimating Breakdown Structure)<sup>3)</sup>를 사용하고 있다. 따라서 지식 집약적 개발 및 생산 활동, IT 기반의 첨단 기술 적용, AI 학습을 위한 데이터 수집·처리·관리 등 첨단 무기체계 개발의 중요한 요소인 프로젝트 범위·활동·지식 요소를 효과적으로 반영하는 것이 곤란하다.

특히 기술 발전 속도가 매우 빠르면서 데이터 품질과 양에 따라 성능 차이가 발생하는 AI 기반 무기체계는 중량, 기술난이도, 하드웨어와 소프트웨어 통합 등 전통적인 비용인자를 이용한 비용추정 시 데이터에 대한 과소 비용 추정, 비용추정 시기와 무기체계 개발착수 시차에서 발생하는 기술 진부화 등에 따른 비용 편차가 크게 발생할 우려가 농후하다. 따라서 첨단 무기체계 특성을 고려한 비용분석 기법 발전방안에 관한 연구가 필요하다.

2) Cost driver : 무기체계를 개발 또는 양산하는 비용에 영향을 미치는 요인으로서 기간·예산·협력 등 사업관리 요인, 무기체계 규격과 관련된 성능 및 형상 요인, 물가상승률 등 경제환경 요인 등이 있다. 비용분석 분야에서는 '비용인자'와 같은 의미이다.

3) EBS : 작업분할구조(WBS ; Work Breakdown Structure)를 비용추정 관점에서 재해석한 구조이다.

## 1.2 연구 목표 및 방법

본 연구의 목표는 기술 발전 속도가 매우 빠르면서 전통적인 무기체계 획득과정에서 사용하지 않았던 첨단 과학기술을 적용한 무기체계 비용추정에 적합한 방법론을 제시하는 데 있다.

연구 범위와 방법은 다음과 같다.

첫째, 무기체계 비용분석 방법별 장단점을 고찰한다. 무기체계 비용분석 방법은 전통적인 4개의 비용분석 방법론에 대한 역사와 현재, 장단점을 분석한다. 특히 국내 방위산업 분야에서 가장 많이 활용하고 있는 Parametric Cost Estimating Method 기반 상용 비용추정 전산모델에 대해 첨단 무기체계 비용분석 관점에서 한계점을 분석한다.

둘째, 첨단 무기체계 비용분석을 위한 발전방안을 제시한다. 본 연구에서는 첨단 무기체계 중 최근 군에서 도입을 가장 활발하게 추진하고 있는 AI 무기체계를 중심으로 연구한다. 이를 위해 AI 무기체계 비용에 핵심적인 영향을 미치는 핵심 비용인자를 식별하고, 민간 분야 AI 체계 개발 비용의 변화추이를 분석한다.

셋째, 위의 분석 결과를 기초로 첨단 무기체계 중 AI 무기체계를 중심으로 핵심 비용인자를 식별하여 정의하고, 첨단 무기체계 비용분석 발전방안을 제도와 방법론 측면에서 제시한다.

## 2. 무기체계 비용분석 동향

### 2.1 무기체계 비용분석의 역사와 현재

비용(Cost)은 제품의 생산 및 운용 때 투입되는 자본, 시간, 노력 등을 금액으로 환산한 원가 총액으로 정의할 수 있다[1]. 원가는 정상적인 자유경쟁 환경에서는 시장원리에 의해 가격(Price)으로 변환되지만, 국방획득 사업은 자유경쟁이 제한되기 때문에 국방기획관리체계에서 소요 기획 단계에 해당하는 획득 초기에 추정된 비용이 크게 변하지 않는 경우가 대부분이다[2]. 따라서 국방 분야 비용분석(Cost Analysis)은 적절한 획득가격을 결정하기 위해 특정한 기준과 방법을 적용하여 원가의 적절성을 평가하는 매우 중요한 과정이며, <표 2-1>에서처럼 다양하게 정의된다[3].

<표 2-1> 문헌상의 비용분석 정의

1. 현재 사용하고 있지 않은 체계에 대해 불안전하고 부정확하며 변화 가능성이 많은 자료를 사용하여 제한된 재원으로 미래에 획득하게 될 경우 최소의 비용으로 일정 수량을 획득하는데 소요되는 비용을 추정하는 과정(비용추정론, 2011)
2. 사업의 연구개발비, 투자비, 운영유지비를 분석, 대안별 총 순기 비용을 집계 비교하는 분석(국방전력발전업무훈령 1306호, 2022)
3. 방위력개선사업을 기획, 계획, 예산편성, 집행하는 과정에서 불필요한 비용지출을 방지하고, 한정적인 재원을 보다 효율적으로 분배 및 활용하기 위하여 적정비용을 추정함으로써 의사결정자 또는 각종 심의·조정·의결기구에서의 합리적인 의사결정을 지원하는 방위력개선사업 분석평가의 한 분야(국방부 분석평가지침, 2007)
4. 확정된 방안에 대하여 사업 집행의 효율성 제고를 위한 적정비용을 추정하여 계획·예산 단계에 반영하고 단계별 목표비용을 산정하여 적정 양산단가 결정 및 집행과정에서 비용 조정·통제를 목적으로 하는 것(방위사업관리 규정 139호, 2011)
5. 무기체계 및 정보체계의 개발(생산)·운영·지원·폐기에 관련된 모든 비용을 추정하는 기법을 개발하고 적용하는 것(美 Naval Center for Cost Analysis)

〈비용분석과 비용추정(Cost Estimation)의 개념은 혼용되어 사용하고 있지만, 비용분석은 과거의 비용자료와 미래의 예측자료를 비교 분석하는 포괄적인 과정이고, 〈표 2-2〉에서처럼 비용추정은 비용과 관련된 자료에 기초하여 미래의 비용을 예측하는 과정이다. 따라서 비용추정은 비용분석의 한 부분으로 볼 수 있다[3].

〈표 2-2〉 문헌상의 비용추정 정의

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 비용추정은 전체 시스템 분석의 한 부분으로서 의사결정을 지원하기 위하여 분석적인 기틀을 제공하는 것(국방대학교 비용추정론 교재, 2011)</li> <li>2. 어떤 시스템이나 계획, 주어진 임무에 소요되는 미래 비용을 예측하기 위해 과거 경험 자료를 수집하여 분석하고 정량적인 모델이나 기법, 수단, 데이터베이스를 적용하는 과정(비용추정론, 강성진, 2010)</li> </ol>
---

일반적으로 사용되는 무기체계 비용추정 방법은 공학적 추정, 전문가 추정, 유사장비 추정, 파라메트릭 추정의 4가지가 있다[4].

첫째, 공학적 추정방법(Engineering Cost Estimating Method)은 연구개발 또는 생산계획이 구체화되어서 현장에서 자료수집이 가능할 때 세부 작업 단계별로 재료비, 치공구비, 직·간접 노무비, 시간외 근무수당 등 실제 집행하게 될 비용 내역에 대한 상세한 비용추정을 통해서 개발이나 생산에 소요되는 전체비용을 상향식으로 산출(Build-up)하는 방법이다. 공학적 추정방법은 가장 정확하고 구체적인 추정 방법이지만, 고도의 전문성과 정확성 및 많은 시간과 자료가 요구된다. 또한 실제 작업에 투입되는 기술자 이외에는 작업 공정별로 투입되는 자원을 구분해내는 것이 매우 어렵기 때문에 추정된 비용에 기술자들의 편견이 포함될 가능성이 있다.

둘째, 전문가 추정법(Expert Institutive Cost Estimating Method)은 추정 대상 무기체계와 유사 무기체계에 대한 자료획득이 곤란할 때 추정 대상과 관련된 비용 전문가나 기술 전문가의 다양한 의견수렴을 통해 보편적인 비용을 추정하는 방법이다. 전문가 추정법은 대상 무기체계나 유사 무기체계에 대한 정보가 가용하지 않은 초기 단계에서 비용을 신속하고 효과적으로 추정할 수 있지만, 추정과정에서 전문가의 편견이 작용하는 가능성이 있고, 추정과정을 정량화하는 것이 제한되는 단점이 있다.

셋째, 유사장비 추정법(Analogy Cost Estimating Method)은 획득 초기 단계에서

유사 체계의 자료수집이 가능할 때 유사 장비의 비용자료나 기술 자료 등을 대상체계의 비용과 연관 지어 추정하는 방법이다. 유사 장비 추정법은 다른 방법에 비해 상대적으로 단순하고 공학적 추정이나 파라메트릭 방법에 의한 비용추정 결과에 대한 타당성을 증명하는 데 사용할 수 있지만, 유사 체계와 대상체계 간의 기능과 개발 또는 생산 환경이 유사한 경우에만 추정치의 타당성을 보장할 수 있다.

넷째, 파라메트릭 추정방법(Parametric Cost Estimating Method)은 획득 초기 단계에서 통계 추론에 의해 하향식(Top-down)으로 개략적인 비용을 추정하는 데 사용되고 있으며, 과거 경험 자료가 충분한 경우에는 비교적 세부적인 비용을 추정할 수 있다[5]. 파라메트릭 추정방법은 소수의 비용인자를 이용한 비용추정이 가능하기 때문에 무기체계의 형상과 사업계획이 확정되기 이전에 다수 대안에 대한 비용을 빠르게 추정할 수 있다. 그러나 비용추정 결과가 통계 추론 과정에서 사용된 자료의 질과 양에 좌우되고[3], 변수 변동에 따라 비용 변화폭이 크게 변할 수 있는 단점이 있다.

비용분석 방법들은 <그림 2-1>에서처럼 무기체계 형상과 사업의 구체화 정도, 비용분석 접근 방법에 따라서 적용 시기와 활용 비중이 다르다[7]. 예를 들어 파라메트릭 비용추정 방법은 획득 초기 단계에서 활용 빈도가 높지만, 체계개발 초기 단계 이후부터는 공학적 추정으로 대체된다.



<그림 2-1> 수명주기에 따른 적정 비용추정 방법론

4개의 비용분석 방법별 장단점을 요약하면 <표 2-3>과 같다.

〈표 2-3〉 주요 비용분석 방법별 특성 및 한계

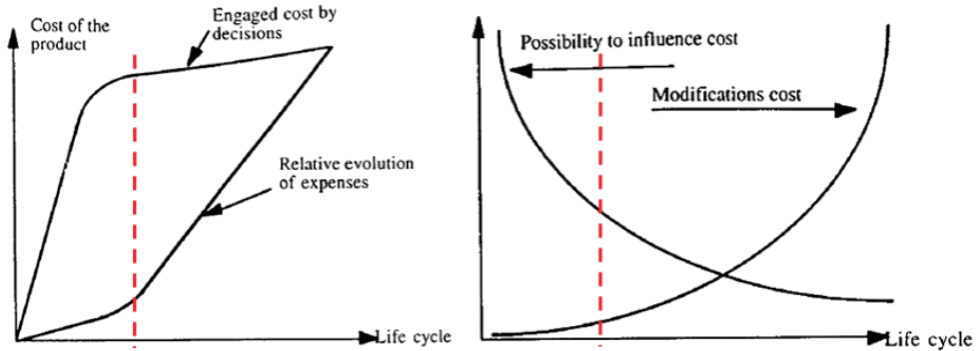
구분	특성	한계
공학적 추정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가장 세부적인 기법</li> <li>· 직접 설계/생산 비용추정</li> <li>* It's made up of these</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 장시간 / 고비용 소요</li> <li>· 편견 내재 우려</li> <li>· 시스템 총비용 간과 가능성 존재</li> </ul>
유사장비 추정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상대적 단순 / 저비용 소요</li> <li>· 증가 비용 산출 용이</li> <li>· 비교적 정확한 추정치 산출</li> <li>* It's like one of these</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유사 장비 자료 확보 요구</li> <li>· 동일한 기능 / 생산 여건시 적용</li> <li>· 체계화된 체계에 제한적 적용</li> </ul>
전문가 추정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자료 획득 제한 때 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 편견 내재 우려 / 정량화 제한</li> <li>· 복잡한 체계 적용 곤란</li> </ul>
파라메트릭 추정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저비용 소요</li> <li>· 통계적 근거 확보</li> <li>· 설계초기 및 기획·계획단계부터 적용 가능(전산모델 가용)</li> <li>* This pattern holds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Data의 질과 양에 좌우</li> <li>· CER<sup>4)</sup> 개발에 많은 노력 요구</li> <li>* 독립변수 숫자 / Data의 제한</li> </ul>

무기체계 연구개발 사업은 기획·계획·예산·집행의 순서로 진행되는 국방 기획관리 체계에서 소요가 결정되는 기획 단계 및 국방중기계획이 작성되는 계획단계와 선행연구가 진행되는 예산 단계를 거쳐서 탐색개발, 체계개발, 양산 및 운영유지의 절차를 따른다[9].

기획·계획 단계에서는 무기체계의 총수명주기(Total Life Cycle Cost) 비용추정 결과를 바탕으로 획득 성능과 비용 및 일정의 상호 절충이 가능하다. 이 시기에서 비용추정은 대상 무기체계에 대한 성능·비용·일정 등의 정보가 한정되기 때문에 다음과 같은 특성을 갖는다.

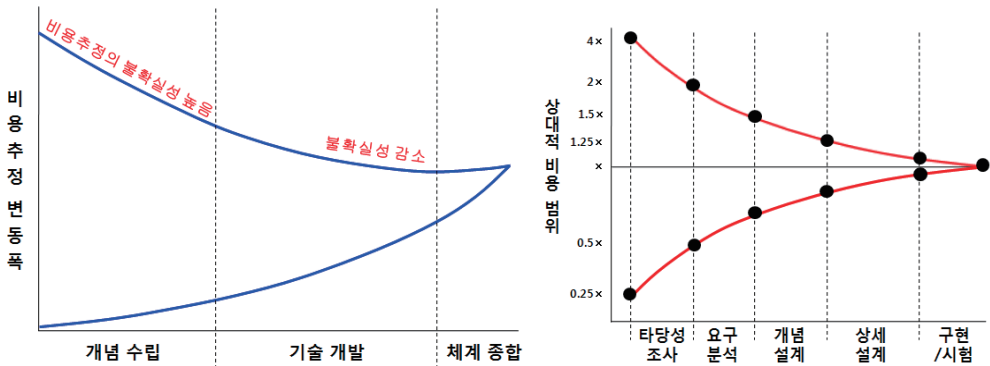
첫째, 비용추정 결과는 현존하지 않는 체계에 대해 미래에 발생할 비용을 예측하는 불확실성이 매우 높지만, 이 시기에 추정된 비용을 시간이 경과한 이후에 보완하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 〈그림 2-2〉에서처럼 설계단계에서 비용은 전체 비용의 15% 이내에서 사용되지만, 80%의 비용이 결정되고, 설계가 완료된 이후에는 초기에 추정된 비용을 수정할 기회가 급격히 감소하는 특징이 있다[10].

4) CER(Cost Estimation Relationship) : 비용을 종속변수, 비용 결정에 영향을 미치는 요인을 독립변수로 구성하여 비용을 추정하는 관계식



〈그림 2-2〉 획득 초기 단계에서 비용추정의 특성

둘째, 획득 초기 단계에서는 무기체계 형상과 사업계획이 구체화되지 않고, 비용 추정 시기와 실제 예산 집행 시기 간의 시간 차이 등 불확실성이 높아서 추정 결과의 변동 폭이 크다. 〈그림 2-3〉에서처럼 획득 초기 단계인 타당성 조사 단계의 비용 편차는 실제 비용 대비 0.25배 과소 추정되거나 4배까지 과대 추정될 수 있지만, 시간의 경과에 따라 추정의 불확실성이 감소되면서 구현 및 시험단계에서는 아주 작은 오차를 보이는 경향이 있다[11, 12].



〈그림 2-3〉 비용추정과 불확실성과의 관계

결론적으로 비용추정의 시기는 비용추정 결과의 정확성에 큰 영향을 미치는 중요한 요소라고 할 수 있다. 또한 획득 초기 단계에서 추정된 비용은 일단 추정되면 보완할 기회가 급격히 감소하기 때문에 분석가의 주관 등에 의한 불확실성을 해소할 수 있는 객관적인 비용분석 방법을 적용하여 추정의 근거와 범위, 제한점을 명확히 하는 것이 중요하다[13, 14].

## 2.2 첨단 무기체계 관점에서 전통적인 비용분석 방법의 한계

무기체계 비용을 하드웨어 중심의 비용분할구조로 추정하는 현재의 비용분석 방법은 지식, 기술 등 하드웨어 특성과 무관한 다른 비용인자가 비용 결정에 핵심적인 영향을 미치는 4차 산업혁명 기술 기반 첨단 무기체계 비용분석에는 적합하지 않다. 하드웨어 중심의 비용분석 방법은 체계를 개발 또는 양산하는데 소요되는 비용을 <표 2-4>에서처럼 중량, 사거리, 규격, 체계 운용환경, 개발난이도, 제도복잡도 등 전통적인 요인에 기초해서 추정하기 때문이다.

<표 2-4> 하드웨어 중심의 비용인자 사례

무기체계	단가	무게	사거리	길이	직경	관통력	탐색기 종류
AT-9	3,100	435	6.0	1.83	0.131	0.8	없음
HOT	30,900	235.	4.1	1.27	0.133	0.9	없음
BGM-71D	45,100	21.5	3.8	1.51	0.152	0.6	없음
...							
ZT-35	25,000	28.5	5.2	1.75	0.122	1.0	IR

예를 들어 전통적인 무기체계에 대한 비용추정에서 핵심 비용인자 중 하나는 중량(무게)이다. 중량은 기동 무기체계에서는 마찰력을 극복하고 최대속도·항속거리 등 속도와 관련된 성능을 충족시키기 위한 중요한 요소이고, 항공 무기체계에서는 중력의 영향을 최소화하고 추력과 양력의 효과를 최대로 발휘할 수 있도록 고려해야 하는 설계·제조상의 매우 중요한 요소이다. 무기체계 중량이 결정되면 해당 중량에 적합한 엔진 등 추진체계, 기타 내·외부 탑재 구성품의 무게와 부피 등이 해당 중량에 적합하도록 다양한 분야에서 비용에 영향을 미치는 노력(Effort)이 요구되기 때문이다. 노력은 기술적인 측면에서의 기술 사용료 및 기술 달성을 위한 연구 및 시험, 인력 운용비용, 첨단 또는 복합소재 재료 확보 비용 등 해당 체계를 개발 및 생산하는데 소요되는 요소를 총칭한다. 따라서 전통적인 비용분석 관점에서 중량의 변화는 노력의 변화를 유발하고, 이는 비용을 변화시키는 논리적인 연관성을 갖는다.

그러나 중량이 비용에 미치는 중요한 영향은 <표 2-5>와 같은 AI 및 지능화, 가상증강현실, 초연결, Big Data, Cloud 등 첨단 무기체계의 핵심기술 관점에서는 중요하지 않을 수 있다. 알고리즘, 네트워크, 데이터, SW 등 IT 기술 개발에 소요

되는 노력을 중량으로 표현할 수 없으며, 특히 IT 기술은 양산 단계에서는 복사·복제가 가능하기 때문에 수량의 승수로 표현하기가 매우 곤란하다. 따라서 4차 산업혁명 기술 기반 무기체계에 대한 비용을 전통적인 관점에서 접근하면 비용추정 과정의 타당성과 비용인자와 비용과의 논리적인 인과관계에 대한 의구심을 갖게 한다.

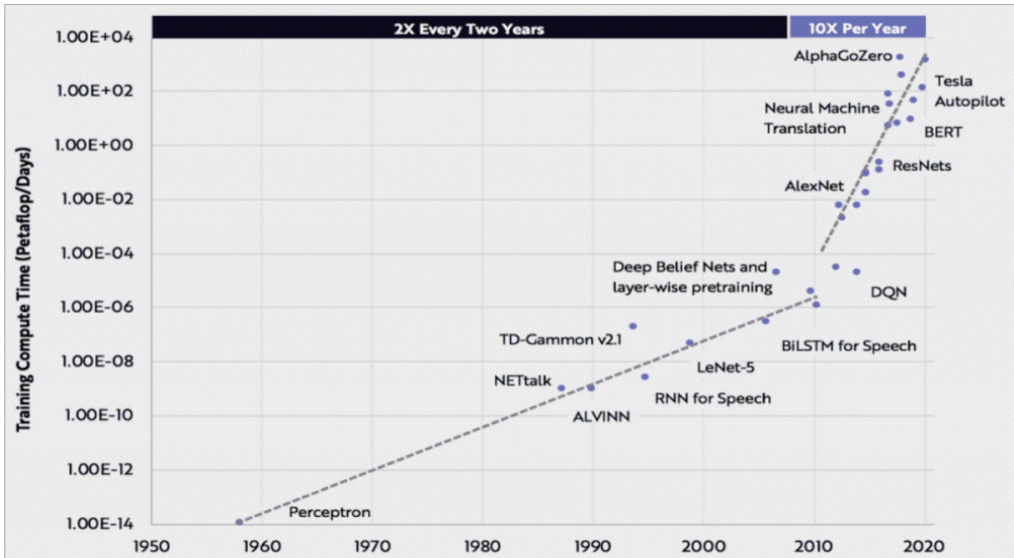
〈표 2-5〉 4차 산업혁명 기반 신기술 사례

4차 산업혁명 기반 신기술		
① AI/지능화	② 초연결 (차세대 통신, 네트워크, IoT 등)	③ Cloud
④ 가상증강현실	⑤ 개인 전투체계/웨어러블	⑥ CPS/정밀제어
⑦ 첨단 바이오	⑧ 첨단 사이버/블록체인	⑨ 미래형 방호
⑩ Big Data	⑪ 자율·무인화/로보틱스 (자율주행, 유무인 복합, 지능형로봇 등)	
⑫ 드론(무인기)	⑬ 첨단 추진/에너지(신재생, 고효율, 고위력, 레이저, 초고속, 장사정, 장거리 등)	
⑭ 첨단 소재/센서/가공(스텔스, 지능형센서, 지능형반도체, 양자, 고해상, 3D 프린팅 등)		

특히 기술 발전 속도가 매우 빠른 AI 분야는 전통적인 비용인자를 기초로 미래에 소요되는 무기체계 연구개발 비용추정 시 기술 진부화에 따른 비용 편차가 크게 발생할 가능성이 매우 크다. AI 분야에서 IC칩과 시스템 설계 기술 등의 비약적인 발전은 동일한 기술에 대해서 비교적 짧은 기간 동안 비용의 급격한 변화를 유발한다. AI 분야에서 발생하고 있는 급격한 비용변화의 대표적인 예를 들면 다음과 같다.

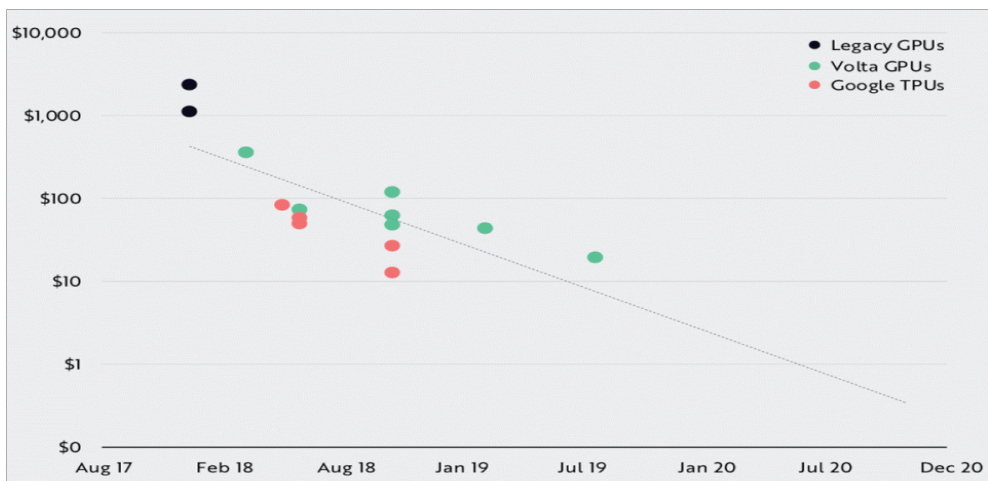
첫째, 대규모 초고속 연산 처리를 위한 컴퓨팅 비용의 감소이다. 〈그림 2-4〉에 서처럼 AI 학습 모델에 소요되는 컴퓨터 연산 처리 능력 발전 속도는 반도체 회로 트랜지스터 수가 1.5년마다 2배가 된다는 무어의 법칙보다 5배에서 100배 속도로 성장한다고 예측되기 때문에 관련 기술 활용에 소요되는 비용 역시 짧은 시간에 크게 낮아지고 있다<sup>5)</sup>.

5) 〈그림 2-4, 5, 6〉 출처 : <https://techrecipe.co.kr>



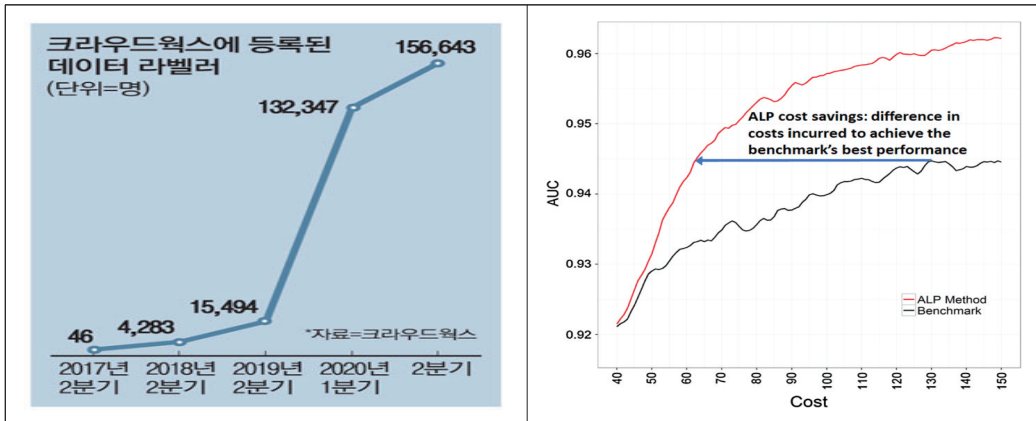
〈그림 2-4〉 Two Eras of Compute Usage in Training AI Systems

둘째, AI 학습에 소요되는 비용의 감소이다. AI 체계 개발 비용의 상당 부분을 차지하고 있는 딥러닝 학습 비용 역시 최근에는 매년 10분의 1 수준으로 감소하고 있다. 예를 들어 〈그림 2-5〉에서처럼 ResNet-50 같은 이미지 인식 네트워크를 공용 클라우드에서 훈련하는데 2017년에는 1,000달러가 소요되었지만, 불과 3년 뒤인 2020년에는 1달러로 약 1/1,000 수준으로 낮아졌다.



〈그림 2-5〉 Cost to Train a Neural Network(ResNet-50)

셋째, AI 개발 인력비용의 감소이다. <그림 2-6>의 왼쪽에서처럼 AI 학습을 위한 데이터 라벨러는 관련 인원의 빠른 유입으로 클라우드웍스 기준 2017년 46명에서 2020년 156,643명으로 3년 동안 3,400배 이상 증가했다. 인원의 빠른 유입과 라벨링 및 분류 기술 발달이 병행하면서 2017년에 1만 달러였던 사진 10억장 분류 비용이 2020년에는 0.03달러로 0.0003% 수준으로 하락했다.



<그림 2-6> AI 학습용 사진 분류 비용 변화

넷째, 지식공유에 따른 기술 비용의 감소이다. <그림 2-6>의 오른쪽에서처럼 AI 기술 개발 간 지식공유에 의한 비용 절감은 시간 단축에 따른 비용 절감 요소를 제외하고도 공유하지 않았을 때보다 절반 이하로 감소한다.

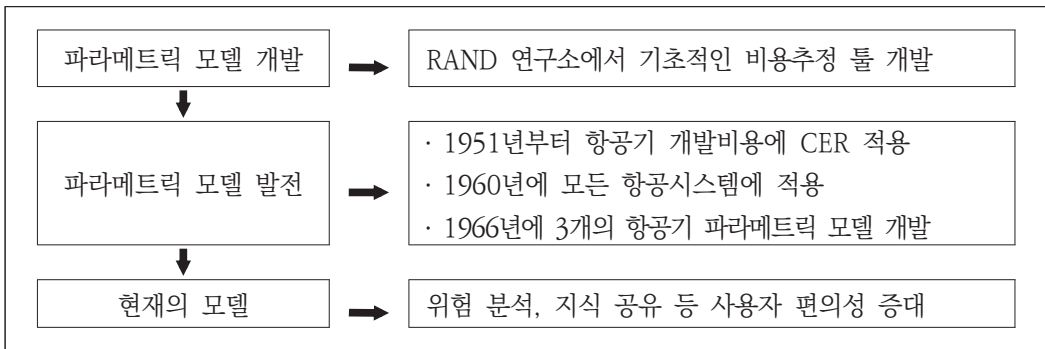
한편 AI, 빅데이터 처리에 대한 급격한 수요 증가로 GPU 등 AI 체계 개발 및 운용을 위한 하드웨어 비용이 급격하게 상승했다가 안정화되는 등 관련 비용의 변동이 큰 현상은 4차 산업혁명 기술 기반 첨단 무기체계 분야에 대한 비용추정의 불확실성을 증가시키고 있다.

### 2.3 상용 비용추정 전산모델 특성 및 제한사항

상용 비용추정 전산모델은 무게, 크기, 효율성, 시간 등의 모수(Parameter)를 수학적 형태로 표현하여 비용을 추정하는 파라메트릭 추론 시스템이다. 간단한 형태의 모델은 소수의 모수로 비용을 추정하지만, 복잡한 모델은 상호 연관된 많은 비용추정식과 기본 규칙, 가정, 상황을 표현하는 변수들로 구성된다[15].

파라메트릭 비용추정 모델은 <표2-6>에서처럼 1950년대 초 RAND 연구소에서 항공기의 개발 및 획득 비용을 추정하기 위해 기초적인 비용추정 SW를 개발하면서 발전되었다. 그 이후의 모델은 SW, 복합무기체계, 우주선의 순기비용(Life Cycle Cost)까지도 추정이 가능하도록 발전되었고[16, 17], 현재는 기본적인 비용추정 기능에 위험분석, 네트워크 기반의 지식공유 등 사용자 편의성이 증대되는 형태로 발전되고 있다.

<표 2-6> 파라메트릭 비용추정 모델 발전과정



국내·외 비용추정 모델에 대해 <표 2-7>과 같이 비용추정관계식(CER) 개수, 비용인자의 개수, 비용인자 유형별 사용 빈도를 기준으로 모델의 특성을 분석하면 다음과 같다.

첫째, 해외 모델은 체계적이고 충분한 자료를 바탕으로 비용추정 목적에 따라 다양한 비용추정 방법을 적용하여 분야별, 기관별 특성화된 모델을 개발하여 활용하고 있다. 예를 들어 대부분의 비용추정 모델들은 회귀분석에 의한 CER을 사용하지만, MLCCM 모델의 경우는 회계상의 실적자료를 활용한 단일 비용 매트릭스를 활용하여 수명주기비용을 추정한다. 그러나 국내 모델은 실적자료 수집의 제한으로 미국 자료 기반의 CER을 개발하거나 전문가 사전지식 기반 CER을 개발해서 사용한다.

둘째, 비용인자는 비용 유형, 형상(Specification) 유형, 성능(Performance) 유형, 사업(Project) 유형 중 사업 유형 비용인자를 제외한 나머지 유형들은 23~32% 수준에서 사용된다.

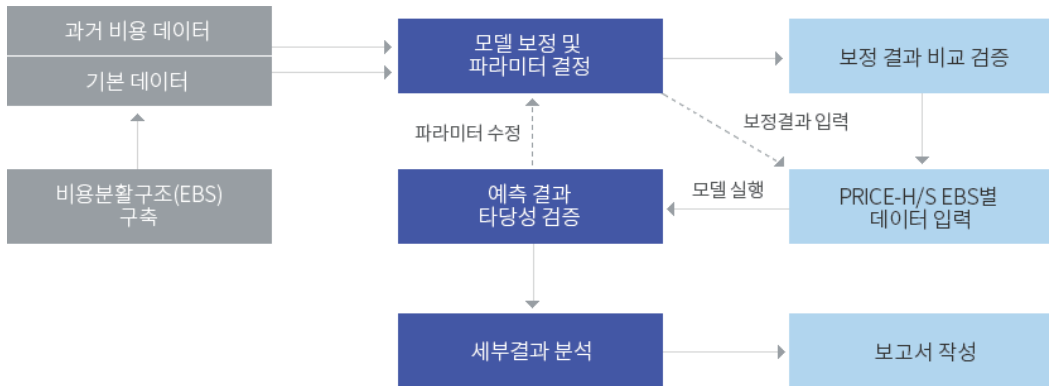
〈표 2-7〉 주요 파라메트릭 비용추정 모델 특성 비교

모 형	CER 개수	인자 개수	비용인자 유형별 사용빈도(%)				
			비용	형상	성능	사업	
해 외	MLCCM	77	180	44	10	9	38
	MISCOM	29	118	33	33	0	33
	Williams 모형	5	2	33	33	33	0
	Choo 모형	5	3	9	36	55	0
	Propulsion #1	3	5	8	31	38	23
	Propulsion #2	2	6	25	25	13	38
국 내	대잠어뢰 #1	1	1	50	0	50	0
	대잠어뢰 #2	2	5	17	33	50	0
	미-한 미사일	6	22	15	59	20	7
	유도-전문가	17	122	2	48	40	11
	어뢰-전문가	9	24	4	75	8	13
	대공 유도	3	3	43	0	43	14
비용인자 유형별 사용 빈도 평균 (%)				23	32	30	15

셋째, 국내 비용추정 모델은 모두 체계 수준의 단일 CER이다. 이는 충분한 자료를 기반으로 비용추정의 수준에 따라서 CER의 개수를 결정하는 해외 환경에 비해 국내의 CER 개발환경이 비용의 분할 수준과 자료의 수집 가능성 측면에서 매우 열악하다는 것을 반증한다고 할 수 있다.

상용 비용추정 전산모델은 SEER, ACE-IT, PRICE, True Planning 등 종류가 다양하다. 국내에서는 전산모델에 의한 비용분석 시 상용 비용추정 전산모델인 PRICE 모델을 가장 일반적으로 사용한다.

PRICE 모델은 수량·중량·크기 등 정량적인 파라미터, 기술수준·환경 규격조건·장비 기능·통합수준 등 정성적인 파라미터와 첫 번째 시제품의 제작기간·생산율·학습률·신규설계 비율 등 일정 관련 파라미터를 사용하여 비용을 추정한다. PRICE 모델을 이용한 비용추정 과정은 〈그림 2-7〉에서처럼 비용분할구조 구축 → 파라미터 결정 → 비용분할구조별 데이터 입력 → 예측결과 타당성 검증 → 모델 보정 및 보정 결과 비교 검증 → 비용추정치 산출의 과정으로 이루어진다.<sup>6)</sup>



<그림 2-7> PRICE 모델을 이용한 비용추정 과정

PRICE 모델의 핵심 비용인자는 제조복잡도와 중량이다. 비용은 제조복잡도가 높거나 중량이 클수록 증가한다. 전자부품 제조 복잡도는 전자부품과 구성품 형태에 따라 달라진다. 기계부품, 구조부품, 비전자부품의 제조 난이도는 자재 형태, 기능성(functionality), 기계가공성(machinability)과 공정(process)에 따라 정해진다.

PRICE 모델의 비용추정 과정은 <그림 2-8>과 같이 3단계로 이루어진다.<sup>7)</sup>

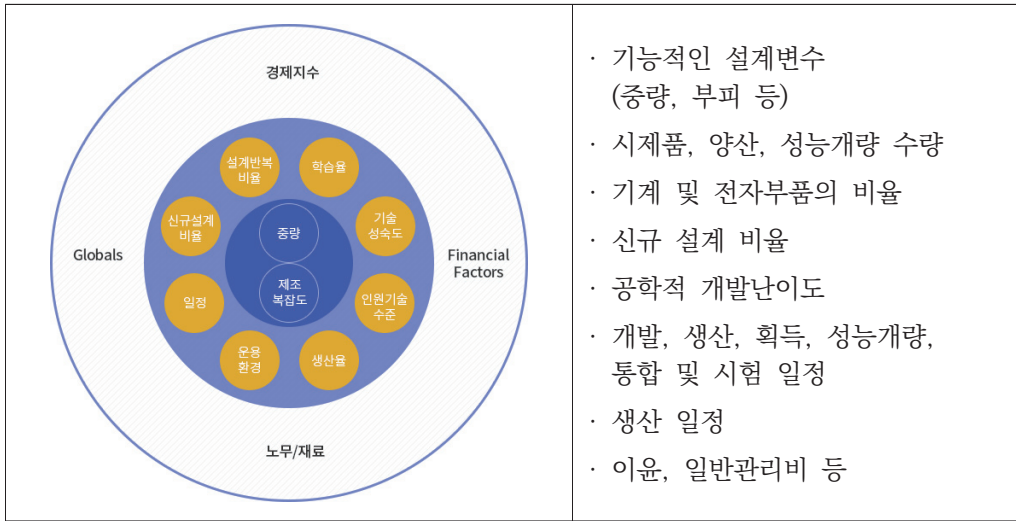
1단계에서는 중량과 제조복잡도에 근거를 둔 비용함수식으로 비용을 추정한다. 이 추정치는 표준화된 비용(Normalized Cost)이다. 이 단계에서는 일정상의 제약 조건, 작업자의 서로 다른 경험 수준, 상용부품 사용 등 현실적인 고려사항을 제외하고 제품을 개발, 생산하기 위한 비용만을 고려한다.

2단계에서는 표준화된 비용에 사업 특성 등 현실적인 상황을 반영하는 절차로 새로운 설계비율·규격수준·기술정도·일정 등을 고려한 비용(Secondary Cost)을 추정한다.

3단계에서는 2단계에서 추정한 총비용을 노무비, 자재비, 기타경비 등의 비용항목으로 분할하고, 경제지표·임율·조직 특성을 고려하여 최종 추정치(Final Cost)로 변환한다.

6) 그림 출처 : <http://www.prigent.co.kr>

7) 그림 출처 : <http://www.prigent.co.kr>



〈그림 2-8〉 PRICE 모델의 비용추정 단계별 주요 비용인자

PRICE 모델은 비용추정에 활용되는 수많은 비용추정관계식이 전통적인 무기체계 개발 중심의 경험적인 자료에 근거하여 만들어졌기 때문에 첨단 무기체계에 직접적으로 적용하기는 곤란하다. 예를 들어 어떤 시스템은 기술 발전 속도가 너무나 빨라서 기존 체계에 대한 비용자료로서는 추정하기가 곤란하기 때문이다. 따라서 비용 관련 데이터베이스도 첨단 무기체계에 적합한 항목을 포함한 업그레이드가 요구되고 새로운 관점에서 비용을 추정할 수 있는 방법론적인 보완이 요구된다.

또한 모델을 제대로 운용하기 위해서는 무기체계 개발 경험 및 기술적 사항에 대한 이해를 기초로 매우 많은 파라미터를 조정해야 한다. 따라서 첨단 무기체계 비용추정에 적합한 논리가 보완되었다고 가정하더라도 비용추정을 위한 데이터베이스와 논리의 대부분이 전통적인 무기체계 개발 실적에 의존할 수밖에 없다. 따라서 AI 등 첨단 무기체계에 특화된 AI 개발자에게 투입된 노력을 전통적인 비용인자 항목으로 전환해서 입력값을 결정하도록 요구하는 것 역시 논리적이지 않다.

결론적으로 현재의 비용추정 모델은 대부분 체계 수준의 비용인자를 사용하기 때문에 첨단 무기체계 개발을 위한 비용추정에 직접 활용하는 데 한계가 있다. 특히 국내 방산 분야에서 가장 많이 사용하는 PRICE 모델은 일반적인 무기체계와 같은 비용추정 논리를 사용하기 때문에 AI 등 첨단 무기체계에 대한 비용추정 도구로 활용 시 비용추정 과정에 대한 논리적 타당성 확보가 제한되고, 비용추정 결과 역시 신뢰성 확보가 제한된다.

### 3. 첨단 무기체계 비용분석 발전방안

본 연구의 목적은 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전방안을 제시하는 데 있다. 따라서 현재 가장 많이 사용하고 있는 비용추정 전산모델인 PRICE 모델을 대체할 수 있는 최적 대안으로 알려진 True-Planning 모델을 중점적으로 연구하여 첨단 무기체계 비용추정 시 활용 가능성을 확인하였다.

이를 통해 비용분석 제도적·방법론적인 측면에서 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전방안을 제시하였다.

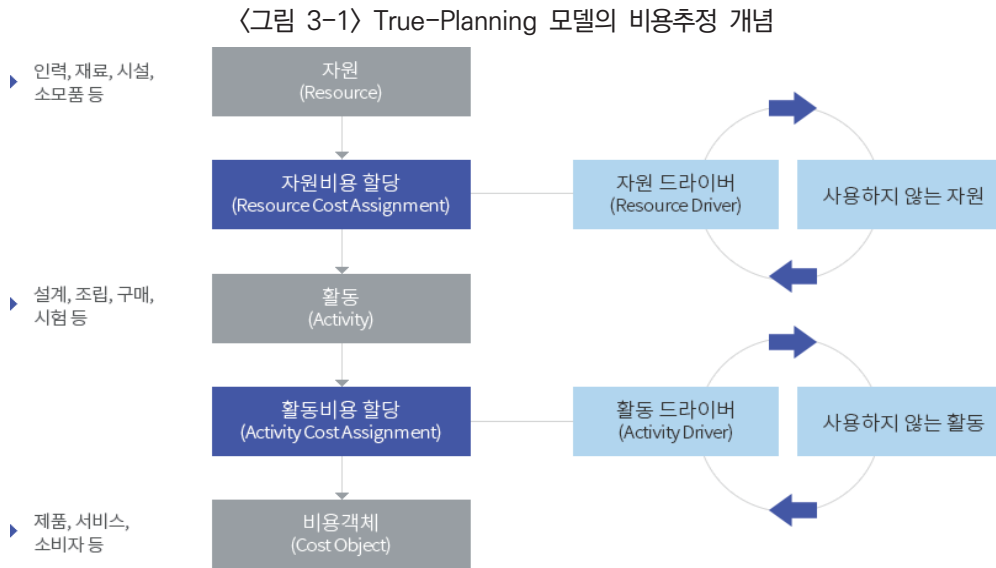
#### 3.1 True-Planning 모델 특성 분석

True-Planning 모델은 PRICE System 社에서 기존 PRICE 모델에 비용추정 개념을 업그레이드하여 개발한 모델이다. True-Planning 모델은 개발 초기 단계에서 사업정보가 부족해도 주요 무기체계에 대한 WBS(Work Breakdown Structure ; 작업분할구조)와 기본 비용추정 결과를 인터넷을 통해 참조할 수 있다. 모델에서 제공하는 주요 무기체계별 WBS는 작업분할구조 관련 미군 표준인 MIL-STD-810C를 기초로 작성되었기 때문에 일반화가 가능하며 해당 WBS를 이용해서 비용추정 대상인 신규 무기체계에 대한 WBS로의 Tailoring이 가능하다. 또한 True-Planning 모델은 수많은 개발 및 컨설팅 경험으로 구축한 자체 DB를 활용하여 비용추정을 할 수 있어서 개념 연구 및 개발 초기 단계에서 쉽게 비용을 추정할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 True-Planning 모델은 현재 세계적으로 많은 국가에서 사용하고 있으며, 미국과 유럽은 현재 PRICE 모델 대신 True-Planning 모델을 사용하고 있다.<sup>8)</sup>

True-Planning 모델은 제품 중심으로 비용을 추정하는 PRICE 모델과 다르게 제품과 사업관리 관점에서 실제 사용되는 제품, 서비스에 대한 활동 및 자원에 비용을 할당하는 개념으로 비용을 추정한다.

8) 저자의 경험에 의하면 PRICE 모델은 Escalation Table 등 주요 경제지표가 2016년 버전 이후 최신화되어 있지 않으며, 2016년 이후에 어떠한 내용의 DB가 최신화되었는지 공개하지 않고 있다. 이러한 사실은 PRICE 모델의 최신화 관점에서 의구심을 가질 수 있다. 이와 관련된 세부 내용은 본 연구의 향후 연구 방향에 기술하였다.

True-Planning 모델은 <그림 3-1>에서처럼 비용객체(Cost Object) 내 활동(Activity) 및 자원(Resource)마다 존재하는 개별 CER을 이용하여 활동 및 자원 각각에 대한 개별비용을 추정한다. 추정된 개별비용에 활동별 비용추정값을 합하여 최종비용을 추정한다.9)



True-Planning 모델 비용추정의 주요 특징을 요약하면 <표 3-1>과 같다.

- 순기비용(Life Cycle Cost) 추정 : 개발·양산·운영유지비용을 단일 Framework에서 관리
- 다양한 HW, SW, COTS, IT Project를 하나의 project에서 관리
- 과거 프로젝트로부터 획득된 Historical data를 이용한 파라메트릭 접근
- 복합체계(SOS ; System Of Systems) 비용추정
- 활동 기반(ABC ; Activity Based Costing) 비용추정
- 체계공학(SE ; Systems Engineering)에 기반 비용추정
- 목표비용관리(CAIV ; Cost As an Independent Variable) 구현 등

<표 3-1> True-Planning 모델의 비용추정 특징

9) 그림 출처 : <http://www.prigent.co.kr>

True-Planning 모델의 주요 메뉴는 <표 3-2>와 같으며, 비용추정을 위한 주요 메뉴는 편집, 도구, 프로젝트 기능이다. 특히 편집 기능의 WBS 내부 객체 편집 기능에서는 전자 신규설계 비율, 전자제품에 대한 제조복잡도, 개발난이도, 전자 외부 통합난이도 등을 세부적으로 조정할 수 있어서 기술 개발 수준에 따른 비용 변화에 관한 확인이 가능하다.

<표 3-2> True-Planning 모델의 주요 메뉴

메뉴명	내 용	메뉴명	내 용
파일 (File)	파일 저장 및 옵션 설정	보기 (View)	메뉴 탭 보이기/숨기기
보고서 (Report)	비용추정 결과 보고서 생성	창 (Window)	창을 초기 설정으로 변경
편집 (Edit)	WBS 내부 객체 편집	프로젝트 (Project)	프로젝트 환경설정
도구 (Tool)	비용추정 결과 보정을 위한 각종 기능 제공	도움말 (Help)	메뉴에 대한 도움말 제공

첨단 무기체계 비용추정 측면에서 True-Planning 모델이 기존 상용 비용추정 전산모델 중 가장 많이 사용하고 있는 PRICE 모델과 다른 특징은 다음과 같다.

첫째, 프로젝트(Project)-특성(Properties) 메뉴에서 프로젝트의 전반적인 내용 요약, 일정, 경제지수 등을 조정할 수 있다.

둘째, 도구(Tool)-워크시트 세트(Worksheet set) 메뉴에서 개별 활동(Activity) 및 자원(Resource) 입력값을 조정할 수 있다. 이때 보정(Calibrating) 기능으로 모델에서 사용되는 승수(Multiplier)를 설정할 수 있다. 승수는 모델 사용자가 첨단 무기체계 개발자를 대상으로 프로젝트를 수행한 경험적인 요소를 확인해서 모델 내부의 자원과 활동에 대한 비용 산출 시 소요되는 노력을 조정하는 수치이다. 또한 워크시트 세트에서 개별 활동 및 자원의 활성화 여부에 대한 조정과 비용 추정 간 사용되는 임율, 제비율 등에 대한 조정이 가능하다.

셋째, 비용 객체(Cost object) 메뉴에서 프로젝트 범위와 활동 관점에서 <표 3-3>과 같은 세부 비용 요소를 조정할 수 있다.

〈표 3-3〉 True-Planning 모델의 세부 비용요소

비 용 요 소	내 용
Project Initiation and Planning for Development	프로젝트 준비 업무
Project Management and Control For Development	프로젝트의 수행 업무
Quality Assurance Management for Development	품질보증 업무
Configuration Management for Development	형상 관리 업무
Vendor Management for Development	협력업체 관리 업무
Documentation for Development	문서 및 기술자료 관리 업무
Requirements Definition and Analysis	요구사항 정의 및 분석 업무
System Design	체계 설계 업무
Development Engineering	시제품 설계 업무
Development Manufacturing	시제품 제작 업무
Development Tooling and Test	시험장비 개발 업무
Production Engineering	양산품 설계 업무
Production Manufacturing	양산품 제작 업무
Software Integration and Test	SW 통합 및 시험 업무
Hardware Software Integration and Test	HW 및 SW 통합 업무
Purchased Good Development Activity	개발 간 구매품 사용 업무
Purchased Good Production Activity	생산 간 구매품 사용 업무
Purchased Good Operation and Support Activity	운영유지 간 구매품 사용 업무
Subcontractor Development Activity	하도급 업체 관리 업무
Other Development	개발 관련 기타 비용

PRICE 모델과 True Planning 모델을 비용추정 범위, 제도적 사용 근거, 적용 방법론, 비용인자 특징, 장점 및 단점 측면에서 비교하면 <표 3-4>와 같다.

<표 3-4> True-Planning 모델과 PRICE 모델 특성 비교

구 분	PRICE 모델	True-Planning 모델
비용추정 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개발비용</li> <li>· 양산비용</li> <li>· 운영유지비용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개발 및 양산비용</li> <li>· 운영유지비용</li> <li>* 개발 및 양산비용 추정 모델과 운영유지비용 추정 모델 분리 판매</li> </ul>
제도적 사용 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방위사업청 고시 비용분석서 작성지침에 상용 전산모델 사용 명시 (특정 모델명은 미제시)</li> </ul>	
적용 방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CER 의한 모수추정</li> <li>· Top-down 방법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PRICE 모델의 기본 추정 개념에 활동기반 비용추정 개념 추가</li> </ul>
비용인자 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· HW, SW 중심 비용인자 사용</li> <li>· 개발 및 생산을 위한 노력을 반영하기 위한 비용인자 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PRICE 모델의 비용인자에 프로젝트 관리 관련 비용인자 사용</li> </ul>
장점 및 단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기본비용 추정시 빠른 시간에 비용추정 가능</li> <li>· 개발난이도, 제도복잡도 등 핵심 비용인자 변화에 따른 비용편차 큼</li> <li>· 모델 운용성 난해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PRICE 모델의 장점 및 단점 동일</li> <li>· 핵심 무기체계에 대한 비용추정 샘플 제공 등 사용자 편의성 향상</li> <li>· PRICE 모델 대비 입력요소 증가</li> </ul>

### 3.2 AI 체계 개발·획득비용의 핵심 비용인자 식별

AI 체계의 핵심 비용인자를 식별하기 위해서는 AI 활용 목적, AI 체계 개발 절차에 대한 이해가 선행되어야 한다. 본 장에서는 국방 분야에서 AI 체계를 활용하려는 요구사항과 활용계획, 일반적인 AI 체계 개발 절차를 고찰하고 이를 기초로 AI 체계를 개발 및 획득하는데 소요되는 비용에 크게 영향을 미치는 핵심 비용인자를 식별하였다.

### 3.2.1 국방 분야 AI 기술 적용 현황

4차 산업혁명 기술 중 국방 분야에서 전략적으로 확보할 8대 분야별 핵심기술은 <그림 3-2><sup>10)</sup>와 같이 ① 자율·인공지능 기반 감시정찰, ② 초연결 지능형 지휘통제, ③ 초고속·고위력 정밀타격, ④ 미래형 추진 및 스텔스 기반 플랫폼, ⑤ 유·무인 복합 전투수행, ⑥ 첨단 기술 기반 개인 전투체계, ⑦ 사이버 능동 대응 및 미래형 방호, ⑧ 미래형 첨단 신기술이다.<sup>11)</sup>



<그림 3-2> 8대 국방전략 기술

AI 기술은 학습·추론·지각·이해 등 인간 수준의 지능을 갖는 컴퓨터의 실현을 위한 기술로써 인간의 능력을 확장하고, 빅데이터를 통해 학습한 인공지능 알고리즘이 예측·분석하여 전투원의 의사결정을 지원하기 때문에 <그림 3-2>의 8대 국방전략 기술 구현 대상체계의 많은 분야에서 공통으로 사용하는 기술이다. 특히 4차 산업혁명 기술적용 전력 중 AI 기술을 핵심기술로 요구하는 주요 체계는 <표 3-5>와 같으며, 현재에도 AI 기술 적용 분야는 지속해서 확대되고 있다.

10) 그림 출처 : <https://blog.daum.net>

11) 산학연의 국방기술 연구개발 참여를 위한 나침반 제시, 방위사업청(2022. 4. 18.)

〈표 3-5〉 4차 산업혁명 기술적용 전력 중 AI 기술을 핵심기술로 요구하는 체계

전 장 인 식	중요시설경계시스템, 다출처영상융합체계, 통합수증감시체계, 정보융합표적처리 체계 등
지 휘 통 제	사이버전장관리체계, 지상전술자료처리체계, 지능형다계층통합통신체계, 지휘통 제 정보공유체계, 인공지능지휘통제체계 등
지 상	대포병탐지레이더-II, 드론봇체계, 다족형전투로봇, 장애물제거로봇, 투척형자폭 /기지경계로봇, AI기반표적식별 및 추적체계, AI기반초연결전투체계, 군집형자 폭무인기 등
공 중	합성전장훈련체계, 대공제압무인기-II, 우주기상예경보체계-II, 초장거리레이더, 고정형장거리레이더-II, 이동형장거리레이더-II, 저피탐향체복합연동체계, 위성 감시레이더, 인공지능 기반 가변형 전투기시물레이더 등
방 호	장사정보요격체계, 화생방정찰로봇, 지능형LVC훈련체계, 특수작전모의훈련체계, 무인레이저대공무기 등

국방 분야 AI는 크게 지능형 군 작전 추론 기술, 영상 정보 기반 지능형 객체 탐지 및 인식 기술, 인간과 무인로봇간 지능형 협업 기술, 위협 우선순위 평가 및 무기 할당 기술로 구분할 수 있다.<sup>12)</sup>

첫째, 지능형 군 작전 추론 기술은 동적인 전장 환경에서 적 상황 및 의도를 AI 로 인지하여 적 작전을 추론하고, 이에 대한 대응을 위해 다양한 방안을 비교하여 최선의 방안을 추천하는 AI 참모를 개발하는 기술이다. 이 분야는 수량이 많고 형태가 다양한 다수의 센서 및 타격 체계를 효율적으로 동시 통합 운용하기 위해 전 장정보 수집·전파·융합·결심 및 명령으로 진행되는 정보흐름의 전 과정 지능화를 위한 기술과, 다양한 출처로부터 수신되는 데이터들을 분석하여 적의 작전을 예측 하는 기술들이 개발되고 있다. 이 기술과 연계한 무기체계는 지휘통제체계, 워게임 체계 등이 있다.

둘째, 영상 정보 기반 지능형 객체 탐지 및 인식 기술은 카메라 등을 통해 입수 된 광범위한 영상을 AI를 통해 종합하여 관심 대상 객체를 자동으로 식별하고 형 상, 위치, 높이, 이동속도 등을 산출하는 기술이다. 이 분야는 영상과 음성인식 기 술을 바탕으로 자율주행 차량, 감시카메라, 로봇 등에서 객체 탐지 및 인식과 관련

12) 4차 산업혁명과 연계한 미래 국방기술, 국방기술품질원, 2017.12.

한 연구개발이 진행 중이며, 광범위한 영상을 대상으로 분석, 식별 및 객체의 특성까지 산출하는 기술은 시작 단계에 있다. 이 기술과 연계한 무기체계는 AI 기반 적 도발 징후 감지 체계, 지능형 다탄두 유도탄, 자율군수지원 체계 등이 있다.

셋째, 인간과 무인로봇간 지능형 협업 기술은 무인체계가 전장상황을 자율적으로 인식하여 유인체계에 정보를 제공하고 유인체계로부터 부여된 임무를 인식하여 자율판단 및 임무를 할당하는 협업 체계 구현 기술이다. 이 분야는 감시정찰, 위협 및 오염지역 정찰, 폭발물·지뢰 탐지 및 제거, 소형·다수 무인비행체의 군집 및 자율비행 등을 위한 기술을 개발 중이며, 유·무인체계 작전 수행 및 유·무인체계들의 협업업무는 중장기적인 관점에서 발전하고 있다. 이 기술과 연계한 무기체계는 지상/해양/항공 분야에서 다양한 형태로 개발될 수 있다.

다섯째, 위협 우선순위 평가 및 무기 할당 기술은 작전 간 적 표적에 대해 수집된 상황인지 정보에 대해 기 확보된 데이터 및 추론 결과를 합성하여 실시간으로 표적 및 타격 목표를 선정하고 타격 체계를 지정하는 기술이다. 이 분야는 다양한 감시정찰 체계로부터 수집된 표적 정보를 바탕으로 표적에 대한 위협 우선순위를 평가하고, 이를 바탕으로 최적의 무기와 무장을 실시간으로 할당할 수 있는 기술 개발이 진행 중이다. 이 기술과 연계한 무기체계는 지휘통제, 방공 분야에서 지능형 다탄두 유도탄 등으로 개발될 수 있다.

### 3.2.2 AI 체계 수명주기 비용의 주요 비용인자 식별

AI 개발은 요구사항 분석 → 데이터 수집 → 데이터 가공 → AI 모델 생성 → 응용 SW 개발 및 체계 종합 → 배포 및 유지보수의 6단계로 구분할 수 있다.

첫째, 요구사항 분석은 AI 체계 사용자의 요구를 분석하여 AI 개발을 통한 사용자의 기대 수준 충족 가능성·예산 및 일정 적절성 등 타당성 조사를 통해 AI 체계 개발 목표와 범위를 설정하는 것이다.

둘째, 데이터 수집은 AI를 학습·시험하기 위해 필요한 데이터를 대량으로 확보하는 것이다. 데이터 수집 비용은 AI의 특성에 따라 차이가 크다. 군 내부에 축적된 정보체계를 이용할 때는 수집 노력이 적게 소요되지만, 자율주행 차량 개발을 위한 실제 지형정보 데이터를 수집할 때는 시간별·계절별·지형별 3D 스캔 데이터 수집 등을 위한 상당한 노력이 요구된다.

셋째, 데이터 가공은 수집된 데이터를 전문 개발자가 DB로 구축하는 것과 태

킹13), 라벨링<sup>14)</sup>, 어노테이션<sup>15)</sup> 등의 노력이 포함된다. 데이터 가공은 AI 개발 과정에서 상당한 비중을 차지한다.

넷째, AI 모델 생성은 데이터를 tensorflow 등 AI 개발 도구에 적용하여 모델을 생성하는 것이다. AI 모델 생성은 한 번에 원하는 성능에 도달하지 못하는 경우가 많다. 따라서 '평가 데이터 세트와 데이터 보완(Training Data set and Complementation)'이라는 과정과 'AI 모델의 하이퍼 파라미터(Hyper Parameter)를 튜닝'하는 과정을 반복하여 기대하는 성능을 충족하는 AI 모델을 생성한다. AI 모델 생성 과정에서는 AI 모델을 개발 또는 튜닝하는 고도로 전문화된 노력이 요구된다.

다섯째, 응용 SW 개발 및 체계 종합은 생성된 AI 모델이 현실에서 특정 기능을 수행할 수 있도록 물리적인 HW와 연동하는 응용 SW가 결합한 종합된 체계를 개발하여 실제 업무 분야에 적용하는 것이다. 이 과정에서는 외부적으로는 사용자의 요구사항 충족 여부 확인 등 체계에 대한 다양한 관점에서의 이해와 내부적으로는 체계 하위요소들을 종합하여 완성된 상위 체계를 개발하기 위한 체계 통합 노력이 요구된다.

여섯째, 배포 및 유지보수는 사전 정의된 AI 기능을 완전한 형태로 구현하여 사용자에게 인도하고, 사용자를 교육하며, AI 사용간 오류 해결 및 지속적인 업데이트하는 과정을 의미한다.

AI 무기체계 개발·획득 비용에 영향을 미치는 요인은 다양하지만, 비용에 크게 영향을 주는 요소는 AI를 개발하는데 필수적인 데이터 관리<sup>16)</sup>와 AI 기능 개발, AI 개발 프로젝트 복잡성, AI 체계의 복잡성, 사이버 보안이라고 할 수 있다.

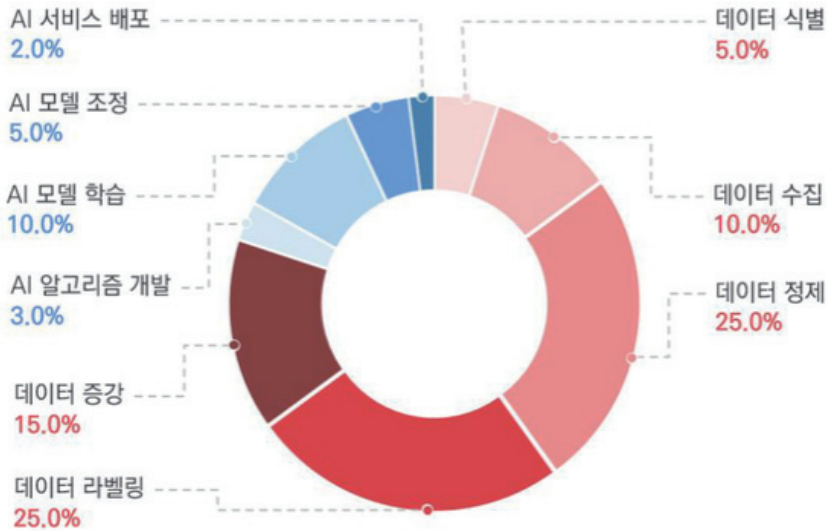
첫째, 데이터 관점에서 AI를 정의하면 'AI는 데이터이다.'로 정의할 수 있을 만큼 데이터 품질이 AI 성능에 미치는 영향력은 절대적이다. AI 체계 개발 과정에서

13) 태깅(Tagging)은 인터넷상의 텍스트, 이미지 등 AI 학습을 위한 데이터를 관련된 주제나 카테고리로 분류될 수 있도록 콘텐츠의 내용을 대표할 수 있는 키워드를 다는 것으로 쉽게 말하면 꼬리표를 다는 것이다.

14) 라벨링(Labeling)은 이미지·영상·텍스트 등의 데이터에 사람이 데이터 가공 도구를 활용하여 AI가 학습할 수 있도록 다양한 정보를 목적에 맞게 입력하는 것을 의미하는 것으로 쉽게 말하면 데이터에 정답을 부여하는 것이다.

15) 어노테이션(Annotation)은 데이터 셋에 메타데이터를 추가하는 작업으로서 AI가 데이터의 내용을 이해할 수 있도록 주석을 달아주는 것으로서 라벨링과 혼용하여 사용한다. 메타 데이터는 데이터에 대한 데이터, 데이터를 설명하는 데이터를 의미한다.

16) 본 연구에서는 데이터 관리를 데이터 수집을 위한 기획으로부터 수집, 정제, 라벨링/어노테이션, 검증, 데이터 품질관리, 학습에 활용, 데이터 최신화 등 데이터와 관련된 제반 활동으로 정의하였다.



〈그림 3-3〉 AI 개발 프로젝트에 소요되는 시간 비율

데이터를 처리하는 데 소요되는 노력은 〈그림 3-3〉에서처럼 80% 가까이 소요된다.<sup>17)</sup>

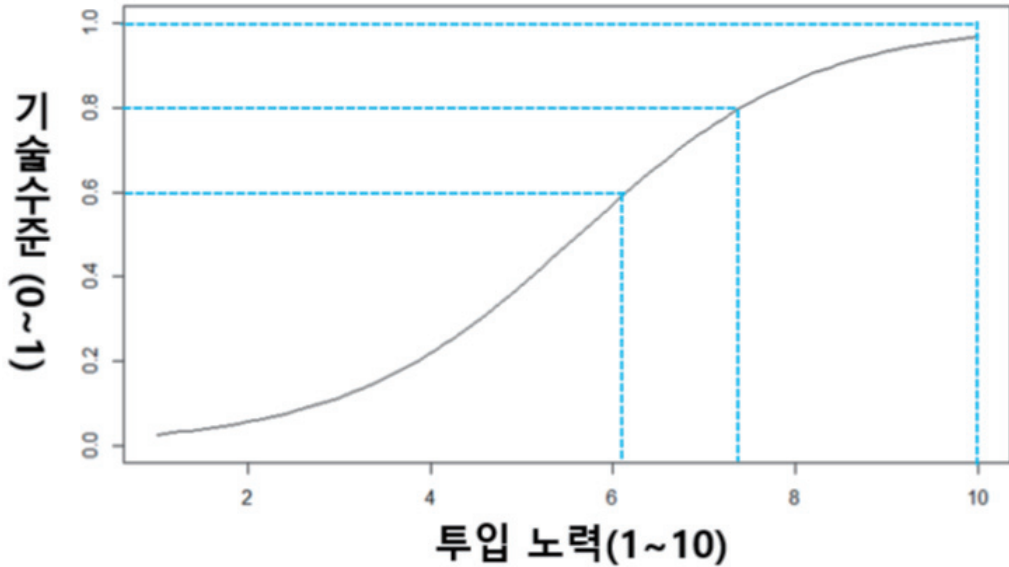
AI 무기체계 개발은 데이터 확보 수준, 데이터 라벨링 여부에 따라 비용이 달라진다. AI 무기체계의 성능은 AI 개발자의 코딩과 튜닝 기술에 의존할 뿐만 아니라 AI 알고리즘을 훈련하기 위한 데이터 품질에 달려 있다. AI 개발을 위한 충분한 데이터가 충분하지 않으면 외부의 정보체계로부터 데이터를 수집하거나 현장에서 데이터를 수집해야 하므로 개발 비용이 증가한다. AI 무기체계 개발용 데이터는 개발 대상체계인 AI의 사용 목적에 적합한 데이터 형태 즉 텍스트·음성·이미지 등 데이터 종류에 따라 수집 방법과 비용이 변한다. 예를 들어 단일 무기체계에 분류와 예측을 수행할 수 있는 AI 알고리즘을 각각 탑재해서 복합적인 기능을 발휘하도록 하기 위해서는 분류와 예측 기능을 각각 구현할 수 있는 고도로 구조화된 데이터 확보가 요구된다. 만약 데이터가 AI가 학습할 수 있는 형태로 라벨링이 되어 있지 않다면 AI 무기체계 개발 간 라벨링을 위한 추가 작업을 해야 하므로 개발 비용이 증가한다. 또한 구조화된 데이터는 AI를 개발 노력을 줄일 수 있다. 특히 AI 알고리즘의 정확도를 높이는 데 필요한 데이터의 양이 충분하고 이러한 데이터

17) 그림 출처 : <http://cdn.itdaily.kr/news>

가 정형화되어 있으면 개발 비용이 감소한다. 비정형 데이터의 경우 AI 개발자는 데이터베이스를 구축하고 레이블을 지정하기 위해 많은 노력을 투입해야 하기 때문에 비용증가로 이어진다. 이러한 비용에는 데이터 라벨링 비용, 오류·누락 된 데이터·결함·특이치 처리 등 데이터 품질 검증 비용, 구조화된 데이터베이스 관리 시스템 구축 비용 등이 있다.

둘째, AI 모델을 개발하는 과정의 핵심 분야는 AI 알고리즘의 학습(Training과 Validation을 포함한 개념)이다. 따라서 AI 모델의 학습에 필요한 시간과 비용을 정확하게 추정하는 것이 가장 중요하다. 신뢰성 높은 AI 무기체계를 개발하기 위해서는 상당한 코딩 또는 튜닝 기술이 필요하기 때문에 AI 성능의 요구 수준 달성을 위한 개발 활동은 비용을 결정하는 매우 큰 요인 중의 하나이다. AI 기능은 크게 분류와 예측으로 구분한다. 분류는 데이터를 컴퓨터가 학습하여 새로운 정보에 관한 결과를 판단하는 기능이다. AI 기반 CCTV, TOD와 같은 감시 및 경계 시스템 등이 해당된다. 예측은 많은 데이터에서 하나의 모델을 추천하여 새로운 데이터를 예측하는 기능이다. 날씨 예보와 같은 수치 정보를 제공하는 체계 등이 해당된다. AI 개발은 보통 YOLO 등 이미 기본 성능이 검증된 알고리즘을 사용하는 경우가 많아서 적정 수준의 군사적 요구사항을 충족시키는 데는 크게 무리가 없다. 그러나 정제되지 않은 야전 환경 즉 AI 관점에서는 최악의 조건에서 고도의 성능 발휘가 요구되는 군사적 요구사항을 충족시키기 위해서는 상당한 노력이 투입되어야 하고, 이러한 노력이 비용증가로 이어진다.<sup>18)</sup> AI 체계에 요구하는 정확도와 신뢰성 수준은 AI 개발 비용을 증가시킨다. 통상 기본 성능이 검증된 AI 알고리즘을 사용한 AI 연구에서 분류성능 50%인 성능을 90%로 향상하는 것은 난이도가 쉽다. 그러나 <그림 3-4>에서처럼 90%에서 95%, 95%에서 96%, 97%, 98%로 향상하려면 상당한 시간과 노력이 요구된다. 이러한 비용에는 복잡하고 정교한 AI 솔루션을 개발하는 비용, 확보된 데이터를 활용한 AI 성능개선 비용 등이 있다.

18) AI 알고리즘은 입력 데이터를 독립변수(Independent Variable 또는 Feature)를 추론하여 결과값(Dependant Variable)을 산출하는 함수관계이다. 따라서 자동차 전용 도로처럼 환경변수가 정형화된 상황과 전술도로처럼 정형화되지 않는 상황에서 AI 알고리즘을 개발하는 과정은 난이도 차이가 매우 크다. 예를 들어 자율주행 차량의 AI 알고리즘을 개발할 때 신호등·차선 등 정형화된 환경변수에서 자율주행 차량의 AI 알고리즘 튜닝 난이도는 그렇지 않은 상황에 비해 비교적 높지 않다. 그러나 차선·신호등 등이 없고 사람과 차량이 혼재되어 이동하는 등 정형화되지 않는 전술도로 상황에서 자율주행 차량의 AI 알고리즘 튜닝 난이도는 자동차 전용 도로 환경보다 매우 높다.



〈그림 3-4〉 기술 수준과 투입 노력의 관계

셋째, AI 개발 프로젝트의 복잡성이다. AI 개발 프로젝트는 Inhouse 방식과 Outsourcing 방식의 두 가지로 관리할 수 있다. Inhouse 방식은 개발인력 인건비와 개발 공간 확보·관리·유지를 위한 비용이 발생한다. 일반적으로 AI 개발 프로젝트팀 구성을 위한 개발인력은 프로젝트 관리자, IT 설계자, 요구사항 분석가, UI 엔지니어, ML·NLP·비전 및 음성 등 AI 체계 목적에 적합한 AI 개발자, 웹 및 모바일에서 운용 시 Android 및 iOS 개발자, AI 통합 및 시험인원, DevOps 엔지니어<sup>19)</sup> 등으로 구성할 수 있다. 이를 AI 체계 개발 단계별로 투입 비율을 추정한 사례는 AI 체계에 대해 개발 단계별 개발인력 비율을 추정한 사례는 〈표 3-6〉<sup>20)</sup>과 같다. Outsourcing 방식은 프로젝트 관리자, 앱 개발자 등 필요한 최소 인력만 운용하기 때문에 비용을 절감할 수 있다.

19) DevOps 엔지니어는 프로세스, 툴, 방법론을 도입하여 코딩·배포·유지관리 및 업데이트로 이루어지는 SW 개발 수명주기 전체에 걸쳐 요구사항 간의 균형을 조율하는 사람을 의미한다.

20) Aran Davies, How Much Does Artificial Intelligence Cost to Develop?, 2022.

〈표 3-6〉 AI 개발 단계별 개발인력 비율 추정 사례(단위 %)

구 분	요구사항 분석	설계	개발	시험	배포	유지보수
소요인력(M/M)	6~8	24~30	39~46	26~33	2~3	3
프로젝트 관리자	25	8	7	5	10	7
IT 설계자	25	8	7	5	10	7
요구사항 분석가	50	8	-	-	-	-
UI 디자이너	-	8	14	5	-	7
AI 개발자	-	36	30	15	-	28
웹 개발자	-	8	10	5	-	7
모바일 개발자	-	8	18	10	-	14
시험자	-	8	7	50	-	23
DevOps 엔지니어	-	8	7	5	80	7

넷째, AI 체계의 복잡성이다. 기본 AI만 구현하는 경우 사람의 개입 없이 작동할 수 있는 완전한 AI 체계에 비해 비용이 적게 소요된다. 그러나 보통의 AI 모델은 체계 내외부로 데이터를 지속적으로 주고받아서 인간에게 통찰력을 제공하는 하나의 완전한 시스템이다. 따라서 AI 모델의 데이터 입출력과 관련된 클라우드, 데이터 추출·전달·적재(ETL : Extract, Transformation, Load) 및 스트리밍 도구, 내·외부 시스템과의 통합지원 API 구축 비용 등이 고려해야 한다. 예를 들어 고객 지원 챗봇과 같은 가벼운 AI는 기업 메신저 내부에 있을 수 있으며 작동하는데 복잡한 인프라가 필요하지 않지만, 조직 전체에서 작동하는 지능형 시스템은 추가적인 인프라 구축 비용이 발생한다. 인프라 비용은 데이터 과학자와 SW 엔지니어 간의 협업, 교육, 조직 전체에서 데이터 흐름을 관리하기 위한 체계 구축 비용 등이 있다. 다수의 문헌에서 식별한 AI 체계별 개발 비용 사례는 〈표 3-7〉에서 처럼 AI 모델의 정확도·개발 방법·사용자의 요구 수준·활용범위 등에 따라 비용 편차가 매우 큰 것을 알 수 있다.<sup>21)</sup>

21) 〈표 3-7〉의 사례는 본 연구의 참고문헌에 명시된 다수 문헌에서 식별한 내용을 종합했기 때문에 추가 인용 표시는 하지 않았다.

<표 3-7> AI 개발 비용 사례

종 류	주 요 기 능	개발 방법	비용(2022년 기준)
AI 기반 원격 의료 체계	· 비디오 및 음성 분석	직접 개발	\$36,000~56,000
지능형 추천 엔진	· B2C 플랫폼 · 완전 관리형 클라우드 인프라	직접 개발	\$20,000~35,000
AI 기반 그림 생성기	· 다른 작가의 작품을 기반으로 새로운 그림 생성	직접 개발	\$19,000~34,000
챗봇	· 고객 지원, 제품 추천	벤치마킹	\$10,000
		직접 개발	\$300,000
주식 시장 동향 관리 체계	· NLP 기반 텍스트 분석 · 최대 65%의 신뢰도	직접 개발	\$100,000 이상
문서 디지털화를 위한 체계	· 종이 문서에서 데이터 추출 · 4시간 동안 300,000건 처리	직접 개발	\$500,000 이상
시맨틱 검색 엔진	· 검색 쿼리에서 의미 추출	직접 개발	\$80,000 이상
지역 상가 검색 엔진	· 기존 대비 272% 속도 향상	직접 개발	\$67,000
채용 플랫폼	· 이력서 검색 및 지원자 평가 · 이력서 분류에 4초 소요	직접 개발	\$57,000

다섯째, 사이버 보안이다. 데이터 입력·인증 오류·SW 보안 취약점 해소를 위한 개발 및 관리 비용, 방화벽·안티바이러스·실시간 위협에 대비한 보안 대책 비용, 다단계 인증 및 암호화 구현 비용, 디지털 서명·인증 토큰 등과 같은 기술을 사용하여 개발한 API를 보호하기 위한 개발 비용, 보안 및 규정 준수 시험을 위한 시험 비용이 해당된다.

### 3.3 AI 무기체계 비용분석 발전방안

AI 무기체계는 국방 분야에서 독자적으로 알고리즘을 개발한 경험이 거의 없으므로 개발 비용 및 소요 기간을 추정하는 것이 정보통신 분야의 일반적인 SW 개발보다 어렵다. AI 무기체계에 대한 개발 및 획득 비용추정이 어려운 이유는 다음과 같다.

첫째, AI 무기체계는 대규모 예산이 사전에 결정되지만, 국방 분야에서 참고할 수 있는 유사 사업이 거의 없다.

둘째, 그동안 AI 무기체계 수명주기 비용추정을 위한 접근 방법 개선을 위한 논의가 없었다.

본 연구에서는 첨단 무기체계 특성을 고려한 비용분석 발전방안을 AI 무기체계를 중심으로 제도와 방법론 분야로 구분하여 제시하였다.

### 3.3.1 제도적인 측면에서 발전방안

첫째, AI 무기체계 개발·획득·운영에 이르는 AI 무기체계 수명주기 비용추정을 위한 지침이 필요하다. 현재는 AI 무기체계 수명주기 비용추정 방법에 대한 공론화된 협의가 없었다. 민간 분야에서도 AI 개발에 소요되는 비용 및 기간을 추정할 때 참고할 수 있는 권위 있는 비용추정 모델 또는 비용분석 사례를 찾기 어렵다. 다만, 국방 분야와 다르게 AI 개발 비용과 관련된 논의는 활발하게 이루어지고 있으며 적정비용을 추정하기 위한 다양한 아이디어들이 제시되고 있다. 그러나 대부분은 사용자 요구사항을 도출하거나 체계를 설계하고, AI 코드를 개발하는 활동에 집중하는 경향이 강하기 때문에 데이터 수집 및 처리, AI 성능평가 등 AI 개발의 핵심 영역에 소요되는 노력을 정형화하는 시도는 거의 없다. 이러한 이유로 AI 전문가 및 공급 업체의 경험, 판단 및 의견에 의존하는 경우가 많다. 국방 분야 역시 이러한 현상이 예상되기 때문에 미흡하더라도 현 수준에서 AI 무기체계 비용추정을 위한 제도적인 지침을 개발할 필요가 있다.

둘째, 제도적으로 비용추정 간 신뢰할 수 있는 민간 분야의 벤치마크 활용을 적극 권장해야 한다. AI 무기체계는 대규모 예산이 사전에 결정되지만, 국방 분야에서 참고할 수 있는 유사 사업이 거의 없다. 따라서 민간 분야로 범위를 확대해서 AI에 대한 비용추정 간 신뢰할 수 있는 벤치마크를 활용하면서 비용추정 결과를 지속해서 DB화하는 것이 필요하다. 다만, 민간 분야의 AI 개발 비용자료 획득은 영업비밀로서 특정 개인 또는 연구기관에서 개별적으로 접근해서 획득하는 것이 곤란하기 때문에 정부(국방) 차원에서 접근하는 노력이 필요하다. 민간 분야 벤치마크를 활용한 AI 무기체계 비용추정이 가능하게 되면 벤치마크를 활용하는 과정에서 비용추정 결과와 원가 정상 결과가 지속해서 축적되고, 이러한 결과가 장기적으로는 고유하면서 정확한 비용추정이 가능한 AI 무기체계를 위한 비용추정 생태계 구축에 기여할 수 있을 것이다.

### 3.3.2 방법론적인 측면에서 발전방안

첫째, AI 무기체계 등 첨단 무기체계 특성을 핵심 비용인자로 반영할 수 있는 비용분석 방법 연구 활성화를 위한 노력이 필요하다. 첨단 무기체계는 전통적인 4가지의 비용추정 방법으로 비용을 추정하는 것에 다음과 같은 논리적인 취약점을 내포하고 있다. 공학적 비용추정법은 Bottom-up 방식이면서 재료비·노무비·경비 등으로 구분되는 방산원가계산규칙 또는 기능점수 기반의 SW 대가산정 기준에 따라 현장에서 직접 발생하는 원가정산자료 또는 견적서 등을 기초로 비용을 추정하기 때문에 실험적이고 경험하지 않은 첨단 무기체계 개발 노력을 적절하게 계량화하는 것이 곤란하다. 유사 장비 비용추정법 역시 유사 체계에 대한 개발 경험이 없으므로 직접적인 적용이 불가능하다. 전문가 비용추정법은 본질적으로 전문가의 주관적 견해에 의존하기 때문에 추정 결과에 대한 해석 차이 논란에서 벗어날 수 없다. 파라메트릭 비용추정법은 알려진 정보가 거의 없는 획득 초기 단계에서 사용할 수 있는 효과적인 방법이지만, 과거 실적자료를 기반으로 비용을 추정하기 때문에 다른 비용추정 방법들과 동일하게 첨단 기술 개발과 관련된 노력을 반영할 수 없다. 다만 파라메트릭 비용추정법은 기술적 난이도에 따른 투입 노력의 차이, 해외 또는 민간에서 공개한 AI 시스템에 대한 개발 비용 구간값 등으로 계량화할 수 있으면 비용인자로 활용할 수 있기 때문에 실적 자료가 거의 없는 상황에서 다른 비용추정법에 비해서 비용추정의 편리성, 비용추정 결과의 신뢰성과 융통성을 보장할 수 있다.

따라서 첨단 무기체계 비용추정 측면에서 현재의 비용분석 방법의 적절성에 대한 평가는 다양한 관점에서 새로운 접근이 필요하다. 예를 들어 현재 사용하고 있는 상용 비용추정 전산모델을 첨단 무기체계에 적용하는 것이 타당한가에 대해 비용분석 전문가들이 진지하게 토론하는 것이 필요하다. PRICE 모델은 국내 방산 분야에서 비용추정 시 가장 많이 사용하는 비용추정 모델 중의 하나이다. PRICE 모델은 각 군, 방위사업청, 국방과학연구소, 선행연구 및 비용분석 수행 연구기관, 국방대학교, 육군사관학교, 공군사관학교, 방산업체 등에서 상당한 비용을 부담하면서 보유하고 있다. 그러나 저자가 PRICE 모델을 운용한 경험에 의하면 Escalation Table 등 주요 경제지표가 2016년 버전 이후 최신화되어 있지 않으며, 2016년 이후에 어떠한 내용의 DB가 최신화되어 비용추정 논리가 어떻게 변경되었는지 공개되지 않고 있다. 이러한 현상은 PRICE 모델의 최신화 측면에서

의구심이 있을 수 있다. 따라서 첨단 무기체계 비용추정의 특징인 시간상으로 가장 최근의 DB를 활용하여 비용을 추정해도 상당한 비용 편차가 발생할 가능성이 큰 점은 DB 업그레이드에 의구심이 있는 PRICE 모델을 계속 사용하는 것의 타당성에 대한 근본적인 재검토 필요성을 암시한다.<sup>22)</sup>

둘째, 첨단 무기체계의 핵심 기능 중의 하나인 AI 기능 개발을 위한 데이터 준비 수준을 비용에 반영할 수 있는 방법론 연구가 필요하다. AI의 성능은 일반적으로 상당한 데이터 준비 작업을 요구하고, AI 기능 개발을 원활하게 지원할 수 있는 충분한 데이터를 확보하는 것이 AI 기능 개발에서 상당한 비중을 차지한다. 데이터 준비가 원활하게 이루어지지 않으면 AI 기능 개발이 지연되고, 이로 인해 첨단 무기체계 개발 프로젝트 전체에 병목 현상을 일으킬 수 있다. 그러나 데이터 준비를 위한 범위·시간·예산 등은 첨단 무기체계 개발 소요제기 단계에서 가시적으로 판단하기 곤란하므로 예산 판단 단계에서 과소 평가되거나 누락될 가능성이 있다. 또한 국방 분야에서는 AI 기능 개발을 위한 데이터가 거의 없는 상태이다. 따라서 첨단 무기체계 개발 간 AI 기능 개발에 소요되는 데이터 준비 비용을 낙관적이지 않은 관점에서 적절하게 추정할 수 있는 접근 방법에 관한 연구가 필요하다. 예를 들어, 현재 국방 분야에서 시도하고 있는 실제 환경(Real World) 기반의 데이터 수집 및 준비는 상당한 노력이 요구되지만, 군내에서 정보유통 제한·개인 정보보호·군사보안 등 현실적인 제약을 해결해야하기 때문에 노력 대비 효과가 충분하지 않을 가능성이 농후하다. 이러한 경우에는 AI 분야에서 최근 활발하게 연구되고 있는 유사환경에서의 AI 학습용 데이터 수집 방법, 합성 데이터(Synthetic Data) 방법 등을 활용하면 비용·일정과 관련된 노력을 줄일 수 있다. 따라서 첨단 무기체계의 필수 기능으로 대두되고 있는 AI 기능 개발에 소요되는 데이터 준비 비용 역시 적용하는 방법론에 따라 상당한 차이가 발생할 수 있다.

셋째, 4차 산업혁명 기술의 빠른 기술 발전 속도, 데이터 기반 기술 특성을 고려한 지속적인 업데이트 소요 등을 고려한 첨단 무기체계 비용분석 방법에 관한 지속적인 연구와 비용분석 사례에 대한 지식을 공유할 수 있는 체계 구축이 필요하다. 지식 공유체계는 정형화된 제도보다는 토의·세미나·컨퍼런스·학술대회 등 국방 분야 또는 대형 국책사업 비용추정 전문가들이 주기적으로 교류할 수 있는 행사를 활성화하는 것이 바람직할 것이다. 국방 분야의 군사보안 특성과 폐쇄적인

22) PRICE 모델 사용 타당성에 대한 분석은 본 연구의 주제를 초과하기 때문에 향후 추가 연구가 필요하다.

자료 공유 경향을 고려했을 때 특정 기관이 주도하는 정형화된 지식 공유체계는 정보의 불균형을 초래할 가능성이 있기 때문이다. 주기적인 행사에 기초한 지식 공유 체계를 통해 다양한 관점에서의 첨단 무기체계 비용추정 방법과 사례를 공유할 수 있을 것으로 판단한다.

넷째, 첨단 무기체계와 일반 무기체계와의 차이를 기술적 관점, 프로젝트 특성적 관점, 비용적 관점에서 비교하는 연구가 필요하다. 이를 통해 AI 기반 전장관리체계, 초소형 정찰드론, 자율주행 무기체계 등 첨단 무기체계의 개발 및 양산, 운영 유지 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자 식별이 가능할 것이다. 해외 국방 분야에서는 활발하게 연구되고 있지만, 국내 국방 분야에서는 실적 데이터 부족 등을 이유로 연구가 부족한 매개변수 비용추정(Parametric Cost Estimating Method), 활동기준 비용추정(ABC ; Activity Based Costing) 등 전통적인 비용 분석 방법이 아닌 다른 관점에서의 접근도 비용분석 방법론 발전을 위해 효과적일 수 있다. AI 개발 프로젝트는 실험적이며, 데이터 확보 등 관련 인프라의 성숙 수준에 따라 AI 알고리즘의 코딩과 튜닝, 데이터 수집 및 처리 등 AI 개발 과정이 계속 반복되는 특징이 있다. 즉 시간이 낭비될 수 있고, 개발 활동이 표류할 수 있으며, 특별한 대안없이 시험하고 도전하는 노력이 지속될 수 있다. 따라서 전통적인 무기체계 개발관리에 사용되는 일정 또는 성과 중심의 프로젝트 관리 개념보다는 AI 체계 개발 활동을 폭넓게 정의하고, 이러한 활동을 기반으로 비용을 유연하게 추정하는 것이 적절할 수 있다.

예를 들어, ABC는 전통적인 비용추정의 한계를 극복하기 위한 새로운 차원의 비용추정 방법이다[4]. 이 방법은 비용이 발생하는 활동이나 과정, 서비스, 생산품을 식별하여 비용으로 환산하는 방법이다. ABC를 사용하면 오버헤드 같은 비용을 절감할 수 있는 강력한 수단이 될 수 있으며 여러 가지 과정에서 발생하는 다른 비용들도 절감할 수 있다.

활동기준에 의한 비용추정은 수평적 관점에서 비용과 비용 정보를 제공함으로써 비용 발생 원인에 관한 정보를 충분히 제공할 수 있다. 이 방법에서는 제품별, 프로세스별, 활동별, 프로젝트별 실비용을 추정하여 정확한 원가와 수익성 정보를 측정하고 분석하는 데 중점을 둔다. 그렇지만 아직까지 해외에서도 직접적인 비용추정이나 원가 산정에 활용되기보다는 어느 한 부분에 대한 분석적인 목적으로 활용되거나 개념 차원에서 언급되고 있는 수준이다. 활동기준 비용추정 개념은 성능

(Performance)과 규격(Specification)을 주요 파라미터로 활용하는 전통적인 비용추정 모델에 비해 신기술 개발과 해당 프로젝트 수행을 위한 활동을 주요 비용인자로 활용하여 비용을 추정하기 때문에 AI 등 기술 중심의 첨단 무기체계 비용추정 방법에 적용할 수 있는 좋은 접근 방법이다. 이 개념은 제도상으로 적용하는데 제한사항은 없지만, 현재까지 한국 방산 환경에서 실제 적용한 사례는 없다.

## 4. 결론 및 향후 연구방향

### 4.1 시사점 및 기대효과

국방 비용분석 분야는 그동안 전차, 항공기, 함정 등 전통적인 무기체계 관점에서 비용분석 방법이 발전되어 왔다. 그러나 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자의 특성이 기존과는 차별되는 AI, 드론 등 첨단 무기체계 비용분석 방법 발전에 관한 연구는 미흡하였다. 본 연구는 AI 무기체계를 중심으로 첨단 무기체계 비용분석 관점에서 현재의 비용분석 제도와 방법에 대한 장단점을 고찰하여 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전방안을 제시하였다. 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 첨단 무기체계 관점에서 현재 사용하고 있는 비용분석 방법의 제한사항을 분석하였다. 이를 위해 대표적인 비용분석 방법인 공학적 추정법, 유사 장비 추정법, 전문가 추정법, 파라메트릭 추정법에 대한 개념과 장단점을 분석하였다.

둘째, 첨단 무기체계에 대해 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자를 식별하였다. 특히 AI 무기체계의 핵심 비용인자를 식별하기 위해 국방 분야 AI 기술 적용현황과 AI 체계 개발 절차를 요약하고, AI 체계 개발에 소요되는 비용변화를 고찰하였다. 이를 통해 AI 무기체계의 핵심 비용인자를 데이터 관리, AI 기능 개발, AI 개발 프로젝트 복잡성, AI 체계 복잡성, 사이버 보안으로 식별하고 정의하였다.

셋째, 국내에서 가장 많이 활용하고 있는 PRICE 모델의 특성과 제한사항을 연구하여 첨단 무기체계 비용추정 간 해당 모델 사용 타당성에 대한 재검토 필요성을 제시하였다. 또한 국내에서 거의 유일한 방법인 PRICE 모델의 타당성이 확보되지 않을 경우에 대한 대안이 될 수 있는 True-Planning의 특징, 장단점을 PRICE 모델과 비교하여 제시했다.

넷째, 첨단 무기체계 비용분석 발전방안을 AI 무기체계를 중심으로 제도와 방법론 분야로 제시하였다. 제도적인 측면에서는 AI 무기체계 수명주기 비용추정을 위한 지침 제정 필요성과 AI 비용추정 간 민간 분야의 벤치마크 활용을 위한 제도적인 장치 구비 필요성을 제시하였다. 방법론적인 측면에서는 첨단 무기체계 비용분석 방법 연구 활성화 필요성, AI 무기체계 개발을 위한 데이터 준비 수준을 비용에 반영하는 방법론에 관한 연구 필요성, 비용분석 방법에 대한 지식공유 체계 구

축 필요성, 첨단 무기체계 비용분석을 위한 다양한 관점에서의 비용분석 방법론 연구 필요성을 제시하였다.

본 연구를 통해 첨단 무기체계에 적합한 비용분석 발전과 제도적 개선 필요성에 대한 공감대가 형성될 수 있을 것으로 기대한다.

## 4.2 향후 연구방향

첫째, 상용 비용추정 전산모델인 PRICE 모델 사용 타당성에 관한 체계적인 연구가 필요하다. 이를 통해 첨단 무기체계 비용추정 시 PRICE 모델을 사용하는 경우 비용분석가들이 해당 모델의 제한사항을 공유하고, 필요시에는 PRICE 모델을 대체할 수 있는 대안을 모색할 수 있는 기회를 창출할 수 있을 것이다.

둘째, AI 무기체계의 개발 및 양산, 운영유지 비용에 영향을 미치는 핵심 비용인자는 AI 무기체계 유형과 요구 수준에 따라 매우 다양하다. 기계 학습, 컴퓨터 비전, 자연어 처리 등을 포함한 AI 기술은 업무에 상당한 가치를 제공한다. 예를 들어, AI를 통해 기업은 중요한 업무처리 절차를 자동화하고 효율성을 극대화하며, 최선의 마케팅 전략을 도출하여 수익을 극대화할 수 있다. 그러나 AI는 챗봇, 분석시스템, 가상비서, 제품 추천시스템 등 형태가 매우 다양하기 때문에 상위 수준에서 AI 체계에 대해 구체적인 비용을 추정하는 것은 곤란하다. 즉 AI에는 기계 학습, 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 예측 분석 등과 같은 다양한 도구와 프로세스가 포함되기 때문에 AI 체계에 공통으로 적용할 수 있는 일반화된 지침을 제시하는 것은 현실적이지 않을 수 있다. 따라서 AI 체계를 기능별로 세분화하고, AI 체계 개발 방법과 형태 등을 그룹화해서 각각의 평균 비용을 추정하는 방법 등에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 국방부, 분석평가업무 실무지침서, 2007.
- [2] 한국국방연구원, 비용분석의 이론과 실제, , 2018.
- [3] 이용복, 파라메트릭 기반 미사일체계 연구개발 비용추정 모델 개발 연구, 국방대학교, 2011.
- [4] 강성진, 비용추정론, 두남, 2010.
- [5] DoD, Parametric Cost Estimation Handbook, Joint Government/Industry Initiative, U.S.A., 1995.
- [6] S. Alkass and A. Jrade, "An integrated system for conceptual cost estimates", Construction Informatics Digital Library [http:// its. scix. net](http://its.scix.net), 2002.
- [7] DSMC, Chart #300R4, Defense Systems Management College, 2001.
- [8] Encora, HOW MUCH DO AI PROJECTS REALLY COST?, 2022.
- [9] 방위사업청, 방위사업관리규정(방위사업청 훈령 제139호), 2011.
- [10] P. Duverlie and J. M. Castelain, "Cost Estimation During Design Step : Parametric Method versus Case Based Reasoning Method", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999.
- [11] GAO, GAO Cost Estimating and Assessment Guide, 2009.
- [12] Luiz A. Aaranjeira, "Software Size Estimation of Object-Oriented Systems", IEEE Tr. on Software Engineering, 1990.
- [13] Briggs, A., and Sculpher, M., "Sensitivity Analysis in Economic Evaluation : A Review of Published Studies". Health Economics, 1995.
- [14] C A Allred 1, P H Arford, P D Mauldin, L K Goodwin, "Cost-effectiveness Analysis in the Nursing Literature, Journal of Nursing Scholarship, 1998.

- [15] 강성진, 김숙한, 이순기, 이호석, 최규명, 최돈오, Parametric Estimating Handbook 번역본, ISPA, 2007.
- [16] Ascent Logic Corporation, CAIV(Cost As An Independent Variable) Seminar Material, 1997.
- [17] RAND, Aircraft Airframe Cost Estimating Relationships : Attack Aircraft, 1987.
- [18] Antonio C. Caputo and Pacifico M. Pelagagge, Parametric and Neural Method for Cost Estimation Process Vessels, Int. J. Production Economics, 2008.
- [19] A Framework of Cost Drivers for Robotic Process Automation Projects, 2021.
- [20] Two Factors That Are a Prerequisite For the Future Use of Predictive Costing, 2019.
- [21] Andrei Klubnikin, How much does artificial intelligence cost? Well, it depends, 2022.
- [22] AI+Machine Learning cost estimates, 2022.
- [23] Aran Davies, How Much Does Artificial Intelligence Cost to Develop?, 2022.



연구보고 2022

---

# 북한 우주개발 기술현황 조사

강동수

2022. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

---



# 목 차

요약문 .....	113
1. 연구 개요 .....	114
1.1 연구 배경 및 필요성 .....	114
1.2 연구 목표 및 범위 .....	115
2. 우주 기술 발전 추세 .....	116
2.1 우주 발사체 .....	116
2.2 인공위성 .....	118
2.3 우주발사 기지 .....	121
3. 우주 개발 현황 .....	125
3.1 대한민국의 우주 개발 현황 .....	125
3.2 북한의 우주개발 현황 .....	131
4. 우주 발사체와 탄도미사일 .....	146
4.1 우주 발사체와 탄도미사일 특성 .....	146
4.2 탄도미사일 방어 .....	153
5. 결 론 .....	158
참고 문헌 .....	159

## 그림목차

〈그림 2-1〉 미국의 우주 발사체 개발 현황 .....	117
〈그림 2-2〉 SpaceX의 발사체 .....	117
〈그림 2-3〉 일반적인 인공위성 구조 .....	119
〈그림 2-4〉 Sea Dragon 발사 개념 .....	122
〈그림 2-5〉 비행기에 장착된 페가서스 모습 .....	123
〈그림 2-6〉 Spin Launch 발사장 모습 .....	123
〈그림 3-1〉 소형위성 개발 이력 .....	129
〈그림 3-2〉 대한민국의 최초 군사 전용 위성 .....	130
〈그림 3-3〉 나로우주센터 조감도 .....	130
〈그림 3-4〉 북한 국가우주개발국과 미국 나사의 로고 .....	132
〈그림 3-5〉 국가우주개발국(NADA)의 내부 모습 .....	133
〈그림 3-6〉 국가우주개발국 국장 .....	134
〈그림 3-7〉 평양 위성관제종합지휘소 모습 .....	134
〈그림 3-8〉 북한 보유 탄도미사일 종류 .....	136
〈그림 3-9〉 9축 화성-15형 .....	137
〈그림 3-10〉 11축 화성-17형 .....	137
〈그림 3-11〉 중국의 동방홍 1호와 광명성 1호 인공위성 .....	138
〈그림 3-12〉 광명성 2호 발사 기념 우표 .....	139
〈그림 3-13〉 광명성 3호-2호 발사 기념 우표 .....	139
〈그림 3-14〉 광명성 4호 발사 기념 우표 .....	140
〈그림 3-15〉 광명성4호의 평균고도와 궤도경사각 (2017~2022) .....	140
〈그림 3-16〉 관측되고 있는 북한의 위성(2022.7.15.) .....	142
〈그림 3-17〉 2021년 열병식에서 공개된 북극성-5사 .....	143
〈그림 3-18〉 고래급 잠수함의 수직발사관(1개) 모습 .....	144

〈그림 3-19〉 서해발사대 위치 및 은하3호 모습 .....	145
〈그림 4-1〉 미국 45기상대대의 발사 기상 예보 사례 .....	148
〈그림 4-2〉 비행시간에 따른 속도특성 .....	150
〈그림 4-3〉 비행단계에 따른 탄도미사일의 RCS 특성 .....	151
〈그림 4-4〉 북한의 광명성 발사 당시 비행 단계와 낙하물 위치 .....	152
〈그림 4-5〉 북한의 광명성 4호 페어링 .....	152
〈그림 4-6〉 탄도미사일의 비행단계 .....	153
〈그림 4-7〉 탄도미사일의 비행경로각 조절을 통한 비행궤적 .....	154
〈그림 4-8〉 탄도미사일과 극초음속 미사일 비행궤적 비교 .....	155
〈그림 4-9〉 미사일 방어국의 탄도미사일 방어 시스템 아키텍처 .....	156

## 표 목 차

〈표 2-1〉 저궤도(LEO) 위성 발사 비용 비교 .....	120
〈표 3-1〉 국가 우주개발계획 수립 현황 .....	125
〈표 3-2〉 제3차 우주개발진흥 기본계획 중점전략과 추진 과제 .....	126
〈표 3-3〉 한국의 로켓 개발 현황 .....	127
〈표 3-4〉 대한민국 위성 현황 .....	128
〈표 3-5〉 남북한 우주 기술력 현황 .....	131
〈표 3-6〉 북한의 발사체 개발 현황 .....	135
〈표 3-7〉 북한의 미사일 종류 및 제원 .....	136
〈표 3-8〉 북한의 위성 발사 현황 .....	141
〈표 3-9〉 북한의 SLBM 개발 현황 .....	143
〈표 4-1〉 우주 발사체와 탄도미사일 비교 .....	147
〈표 4-2〉 탄도미사일 사거리 조절방법 .....	149

## 요 약 문

지난 8월 대한민국은 최초의 달탐사선인 다누리를 미국 스페이스X사의 로켓에 탑재하여 목표한 궤도에 성공적으로 진입시켰다. 국방 분야에서도 감시정찰, 통신, 탄도탄 요격 등 미래 전장환경에서 우주 공간을 국가안보의 작전영역으로 인식하고 관련 사업을 진행하고 있다. 군사적 위협이 되는 북한도 이러한 상황을 인지하고 국가우주개발국을 설치하여 로켓 시험발사를 하고 있어 북한에 대한 우주개발 기술현황 조사가 필요하다.

본 연구는 먼저 우주개발의 3요소인 우주 발사체, 인공위성, 우주발사 기지의 발전 추세를 살펴보았다. 다음으로 한의 탄도탄 실험과 관련 기관 보고서 등 공개된 자료를 수집하고 분석하여 북한의 우주개발 능력을 조사하고, 한국의 우주개발 현황과 발전계획을 정리하였다. 마지막으로 탄도미사일의 기술에 이용되는 발사체 기술을 중심으로 자료를 조사하고 분석하였다.

북한은 수시로 탄도미사일 발사 시험을 진행하고 극초음속 미사일 시험발사와 정찰위성 개발 시험을 주장하고 있다. 북한은 이미 2012년에 자체 인공위성인 광명성 3호를 은하 3호 발사체에 탑재하여 궤도에 정상 진입시켰다. 또한, 김정은 체제에서 국가우주개발국(NADA, National Aerospace Development Administration)을 설치하여 우주 발사체 및 인공위성 개발을 진행하고 있다. 이를 위해 동해와 서해에 각각 있는 우주 발사체 발사장과 평양에 위성관제종합지휘소를 가지고 있다.

인공위성이나 우주선 발사를 위한 우주 발사체와 탄도미사일을 비교해 보면 우주 발사체는 탄도미사일과 비슷한 원리와 발사체의 구조로 유사한 형상을 가지고 있다. 이러한 이유로 발사체 기술은 국가 안보와 군사적 측면에서 중요한 전략 자산이 된다. 발사체 기술을 확보하고 있는 미국을 비롯한 선진 각국은 기술을 발전시키고 있으며 발사체의 기술 이전을 제한하고 있다.

우주 작전 공간에서 의지를 실현 가능하게 하는 우주 기술의 중요성은 점점 증대하고 있다. 본 보고서를 통해 우리에게 위협이 되는 북한의 우주 기술 현황을 수집하고 분석하여 대한민국의 대북 정책 방향 수립에 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

# 1. 연구 개요

## 1.1 연구 배경 및 필요성

최근 북한은 극초음속 미사일 발사 시험 및 탄도탄 시험 발사를 진행하고, 정찰 위성 개발 시험을 주장하고 있다. 북한은 2012년, 2016년 광명성 3호와 광명성 4호 발사 이후 6년 만에 다시 인공위성 발사에 도전하고 있다.

또한, 선진 각국은 우주 개발을 위해 노력하고 있으며, 국방 분야에서도 감시정찰, 통신, 탄도탄 요격 등 미래 전장환경으로 우주 공간 개발에 관심을 가지고 있다. 이러한 우주력은 우주 개발의 3요소인 위성, 발사체, 발사기지를 모두 확보하여야 원하는 시기에 의지를 실현할 능력을 확보하게 된다. 우주 공간은 전장 공간으로 군사 작전에 많은 영향을 미친다.

인공위성 발사를 위한 우주 발사체(launch vehicle)는 위성이나 우주선을 우주로 보내기 위한 운반 도구로 지구 표면으로부터 우주 공간으로 옮기는 데 사용되는 로켓을 말한다. 또한, 우주 발사체는 탄도미사일의 추진체로 사용될 수 있는 기술로 적대국이 이 기술을 가지면 우리에게 위협이 된다.

기존의 탄도미사일은 포물선 궤도를 그리며 항적을 나타내었지만, 최근의 미사일은 극초음속으로 속도가 마하5 이상이 되고, 기동성을 가지고 저고도 비행이 가능하게 되었다. 또한, MIRV(Multiple Independently Targetable Vehicle)의 형태로 탄두는 중량과 크기에 따라 10~15개의 탄두를 탑재해서 1,500km 거리를 이격하여 공격할 수 있는 수준에 이르고 있다.

미국 우주 사령부(United States Space Command)는 지구궤도를 회전하는 모든 인공 물체들에게 식별번호를 부여하고 있다. 북한에서 발사된 4개의 인공물체가 인공위성 식별목록 번호인 NORAD(North American Aerospace Defense) ID를 부여받아 우주에서 관측되고 있다. 그러므로, 현시점에서 우주 개발의 필요성을 인식하고 국가우주개발국을 설치하여 로켓 시험발사를 하고 있는 북한의 우주개발 기술현황 조사가 필요하다.

## 1.2 연구 목표 및 범위

### 1.1.1 연구 일반

- 연구기간: 2022.05.17. ~ 2022.09.16. (4개월)
- 제기부서 요구내용: 연구수행 의무 및 보고서 제출 기한 준수

### 1.1.2 연구 범위

- 우주 기술 발전 추세
- 한국의 우주 개발 현황
- 북한의 우주 개발 현황
- 우주 발사체와 탄도미사일 비교

### 1.1.3 연구 방법

- (방법1) 자료 수집 및 조사 자료 분석
- (방법2) 관련 선행연구 자료 수집 및 조사 분석

### 1.1.4 기대 효과

- 기대효과: 북한의 우주 관련 기술 조사
- 활용분야: 북한 문제 해결을 위한 정책 수립 및 추진을 위한 자료로 활용
- 활용부서: 국방부, 방위사업청, 합참, 육·해·공군, 국방대학교 등

## 2. 우주 기술 발전 추세

### 2.1 우주 발사체

#### 2.1.1 우주 발사체

2021년 우주 발사체는 8개국에서 총 145회가 발사되었으며, 1,730개의 페이로드가 배치되었고 매 발사마다 평균 11.9개의 탑재물(payload)이 날아갔다. 카르만 라인까지 도달한 우주 여행자도 22명이나 기록되었다.<sup>1)</sup>

우주 발사체(launch vehicle)는 인공위성이나 우주선을 우주로 보내기 위한 운반 수단으로 탑재물(payload)을 지구 표면으로부터 우주 공간<sup>2)</sup>으로 옮기는 데 사용되는 수단(로켓)을 말한다. 이러한 발사 시스템에는 발사체, 발사대와 같은 시설물들이 포함되어 있다. 또한, 발사체인 로켓은 자동차나 항공기, 함정 등의 엔진과는 다르게 우주 진공상태에서 추력이 필요하기 때문에 연료와 산화제를 모두 가지고 있는 추진제로 비행해야 하는 특징이 있다.

우주 발사체를 측정하는 주요 지표는 크게 델타브이(Delta-V,  $\Delta V$ , dV), 비추력(Specific Impulse(Isp)), 추력(Thrust)으로 측정할 수 있다. 먼저, 델타브이는 속도(Velocity)의 변화량(Delta)을 말하며, 단위는 m/sec이다. 다음으로 비추력은 단위 중량(kg)의 연료를 1초(sec) 연소하였을 때 얻을 수 있는 추진력으로 단위는 초(s)이다. 마지막으로 엔진 연소 시 발생하는 힘의 반작용으로 비행물체를 진행 방향으로 밀고 나아가는 힘인 추력(Thrust)은 자동차 엔진의 마력과 같은 것으로 단위는 뉴턴(N)이다.

우주 발사체의 모양은 일반적으로 2단, 3단을 연결한 형태로 구성되어 있다. 이러한 단은 자체가 엔진이 되는 추진제를 가지는 독립적인 로켓을 말하는 것으로, 단의 배치에 따라 우주 발사체의 모양이 달라진다. 대부분의 우주 발사체에 사용되는 단 연결 모양은 큰 로켓 위에 작은 로켓을 올려져 있는 형태로 아랫단인 1단이 가장 크고 그 위의 2단 혹은 3단의 크기가 작아지는 형식이다.

1) Space foundation, 2021 Annual Report.

2) 우주 공간은 일반적으로 카르만 라인(Karman Line)이라고 불리는 물리학자 시어도어 폰 카르만(Theodore von Karman, 1881~1963)이 정의한 지구 대기권과 우주의 경계선인 고도 100km 이상의 공간을 말한다. 일부 학자들은 우주 공간을 지상에서 80km 또는 90km를 주장하기도 한다.

우주 발사체의 로켓엔진은 추진제의 종류에 따라 고체추진제와 액체추진제로 구분되며, 우주 발사체 추진기관은 높은 효율성과 재점화 등을 요구하기 때문에 주로 액체엔진이 많이 사용된다. 추진제는 연소를 통해 에너지를 만들어 내는 연료와 연소 시에 산소를 공급하는 산화제로 구성되어 있다. 액체엔진은 고체엔진에 비해 복잡한 구조를 가지고 비용이 비싸지만, 추력 조절이 가능하고 추진제를 별도의 탱크에 저장하기 때문에 연소 시간을 연장할 수 있는 장점이 있다.

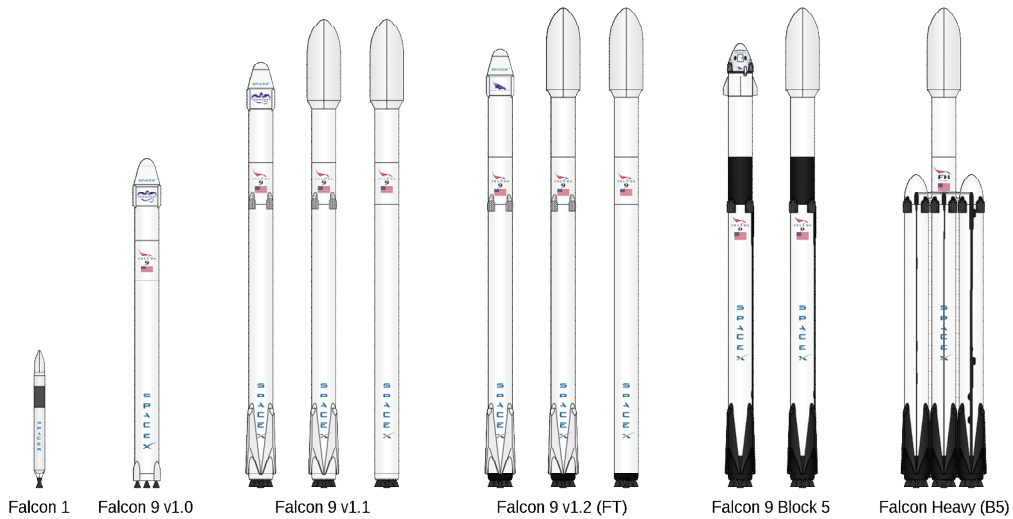
우주 발사체 기술의 선두는 단연 미국이다. 민간기업인 SpaceX, ULA(United Launch Alliance), 블루 오리진(Blue Origin) 등이 정부의 지원을 받아 민간분야의 빠른 기술 발전 능력을 이용하여 발사체 재사용 등으로 저비용 발사체를 개발하고 있다. 미국의 우주 발사체 개발 현황은 <그림 2-1>과 같다.

미국의 SpaceX는 일론 머스크에 의해 설립된 우주 회사로 초기 개발 단계에서는 NASA의 지원 아래 많은 발사 기회를 얻었기 때문에 계속된 발사 시험과 착륙 시험을 거치면서 안정적인 발사체를 개발할 수 있었다. 초기 Falcon9을 개발할 당시부터 NASA는 드래곤 탑재체를 통해 국제우주정거장(ISS: International Space



<그림 2-1> 미국의 우주 발사체 개발 현황

(출처: 문태석, 이재민, 우주 발사체, KISTEP 기술동향, 2018.)



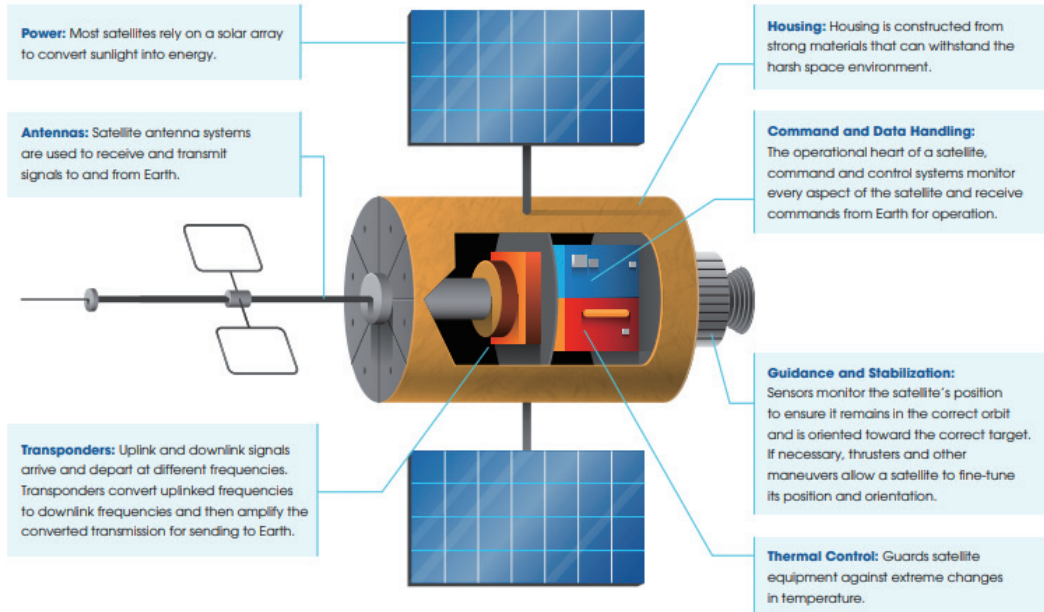
〈그림 2-2〉 SpaceX의 발사체

Station)에 화물을 공급하는 COTS(Commercial Off-the-Shelf) 임무 및 CRS(Commercial Resupply Service) 임무를 SpaceX와 계약하였고, 이를 통해서 SpaceX는 고가의 위성을 쏘는 대신 상대적으로 저렴한 탑재체를 발사하여 위험도를 낮출 수 있었다. 이러한 발사 경험은 SpaceX가 상업 발사 시장에서 우위를 차지할 수 있는 기반이 되었다.

SpaceX는 〈그림 2-2〉와 같이 다양한 발사체를 보유하고 있으며, 발사체 발사 후 지상 또는 해상에서 1단을 회수하여 재사용하는 기술을 보유하여 발사 비용을 절감하고 있다. SpaceX가 개발한 재사용발사체 회수 기술로는 속도 감소에 사용되는 그리드 핀과 초음속 역추진 기술, 착륙 시 활용되는 랜딩 기어 등이 알려져 있다.

## 2.2 인공위성

인공위성은 인간이 만든 위성으로 지구의 둘레를 돌도록 발사체를 이용하여 궤도에 진입시킨 인공의 구조체이다. 또한, 인공위성은 특정 목적을 달성하도록 인공적으로 만들어 지구궤도를 돌도록 배치한 것으로, 배치되는 고도에 따라 정지궤도 위성과 비정지궤도 위성으로 나눌 수 있으며, 목적과 용도에 따라 정찰위성, 과학



〈그림 2-3〉 일반적인 인공위성 구조

(출처: Space foundation, The Space Briefing Book, 2019.)

위성, 기상위성, 통신위성 등으로도 분류할 수 있다. 인공위성은 전원을 공급하는 태양열판, 전원공급장치, 안테나, 기능에 따른 시스템 장치들로 〈그림 2-3〉과 같이 구성된다.

인공위성은 위성 목록 번호인 NORAD(North American Aerospace Defense) ID를 가지고 있다. 위성 목록 번호인 NORAD ID는 미국 우주 사령부(United States Space Command)에서 지구궤도를 회전하는 모든 인공물체들에게 부여한 5개의 연속적인 숫자이다. NORAD ID 1번으로 부여된 인공물체는 1957년에 발사된 소련의 Sputnik 발사체이고, NORAD 2번이 Sputnik 인공위성이다. 인공위성들을 구분하기 위해 만들어진 북미항공우주방위사령부 번호목록(NORAD Catalog Number), 미국 항공우주국 번호목록(NASA Catalog Number), 번호목록(Catalog Number)으로 불리기도 한다.

인공위성은 고도에 따라 궤도를 달리한다. 먼저 지구 저궤도(LEO, Low Earth Orbit)는 지상 200~2,000km 사이의 궤도로 지구 대기권과 밴앨런대(Van Allen belt) 사이에 존재하며, 허블망원경(Hubble), 국제우주정거장(ISS, International

Space Station) 등이 이 궤도에 있다. 지구 정상궤도에 안쪽에 있어서 빠르게 이동하므로 공전주기가 짧다. 예를 들면 국제우주정거장(ISS)의 공전주기는 약 93분이다. 200km 이하는 궤도를 유지하면서 비행하기 위한 속도가 빨라서 궤도 유지가 곤란하다.

지구 중궤도(MEO, Medium Earth Orbit)는 지상 20,000km에서 지구 정상궤도 사이 궤도로, 통상 GPS 위성의 궤도로 알려져 있다. 지구 정상궤도(Geostationary Earth Orbit)는 지상 35,800km에 위치로 지구 정지궤도로 불린다. 공전주기는 지구 자전주기와 같은 24시간이다. 이 궤도를 도는 물체의 공전주기가 행성이나 달의 자전 주기와 일치하는 경우에 해당한다. 일반적으로 통신위성이나 기상 위성이 지구 정상궤도에서 공전하고 있다.

지구 고궤도는 지구 정상궤도 밖의 궤도로 일반적으로 위성은 타원궤도 운동을 한다. 벨라 위성(Vela), 뉴턴망원경(XMM-Newton)과 같은 감마선, 엑스선 관측 위성이 궤도에 위치하고 있다.<sup>3)</sup>

〈표 2-1〉 저궤도(LEO) 위성 발사 비용 비교

발사체	발사 비용 (\$)	중량(kg)	비용(\$/kg)
Atlas V (401)	109,000,000	8,123	13,419
Atlas V (551)	153,000,000	18,814	8,132
Dnepr	29,000,000	32,000	9,063
Electron	4,900,000	225	21,778
Falcon 9 (Refurbished)	50,000,000	22,800	2,193
Falcon 9 (New)	62,000,000	22,800	2,719
Proton	65,000,000	23,000	2,826
Saturn V	1,230,000,000	140,000	8,786
Sea Dragon	275,000,000	550,000	500
Soyuz	48,500,000	6,450	7,519
Space Shuttle	576,000,000	27,500	20,945

(출처: Adele Gammarano et al., Sea Launch, Wave of the Future)

위성발사 비용은 저궤도(LEO) 발사 비용을 위성의 중량에 따라 계산하여 발사 위성 1kg당 비용을 분석해 보면 <표 2-1>과 같이 민간 스페이스X의 비용과 적도 지역으로 이동이 가능한 해상 기반 발사가 상대적으로 적은 비용으로 발사체를 올리고 있다.

민간의 대표적인 위성사업은 일론 머스크가 세운 우주탐사 기업 스페이스X가 지구 저궤도에 약 1만 2,000여 개의 인공위성을 띄워 전 세계에 인터넷 연결이 어려운 지역에 초고속 인터넷 서비스를 제공하는 스타링크 프로젝트를 진행하고 있다. 이렇게 되면 현재 해저케이블을 연결하여 인터넷을 사용하는 것보다 속도가 빨라지고, 우주 공간의 상업적 활용을 본격화하여 우주 공간이 우리 생활에 깊숙이 들어오게 될 것이다. 스타링크 서비스는 이미 일부 지역에서 서비스되고 있으며 한국에서는 서비스 사전 예약이 가능하다. 인터넷 인프라가 잘 구비 되어 있는 우리의 경우는 이 서비스가 필요치 않으나 새로운 인프라를 구축해야 하는 지역은 유용한 서비스가 될 것으로 판단된다.<sup>4)</sup>

## 2.3 우주발사 기지

우주발사 기지는 우주 발사체를 우주 공간으로 보내는 업무를 담당한다. 인공위성을 탑재한 발사체의 발사 이외에도 우주 관측을 수행하는 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 이러한 장소에 대한 개념은 발사장(Launching Site) 또는 우주센터(Space Center)라고 불리기도 한다. 원활한 우주 발사 능력을 확보하기 위해서는 우주발사 기지의 확보가 절대적으로 필요하다.

전 세계적으로 자체 위성발사 기지를 운영하고 있는 국가는 14개국이다. 이러한 발사장의 입지 특성을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 인공위성이 위치하게 될 궤도를 고려해야 한다. 고도 200~500Km 전후의 저궤도, 35,800Km의 정지궤도는 동쪽으로 로켓을 발사하여 지구의 자전 속도를 활용할 수 있도록 동쪽으로 로켓을 발사하는 곳이 선정된다. 북극과 남극의 상공을 통과하는 극궤도는 발사장에서 북쪽 또는 남쪽으로 발사하게 되어 지구의 자전 속도는 거의 이용할 수 없게 된다. 자전 속도는 적도 상공이 가장 빨라 1초에

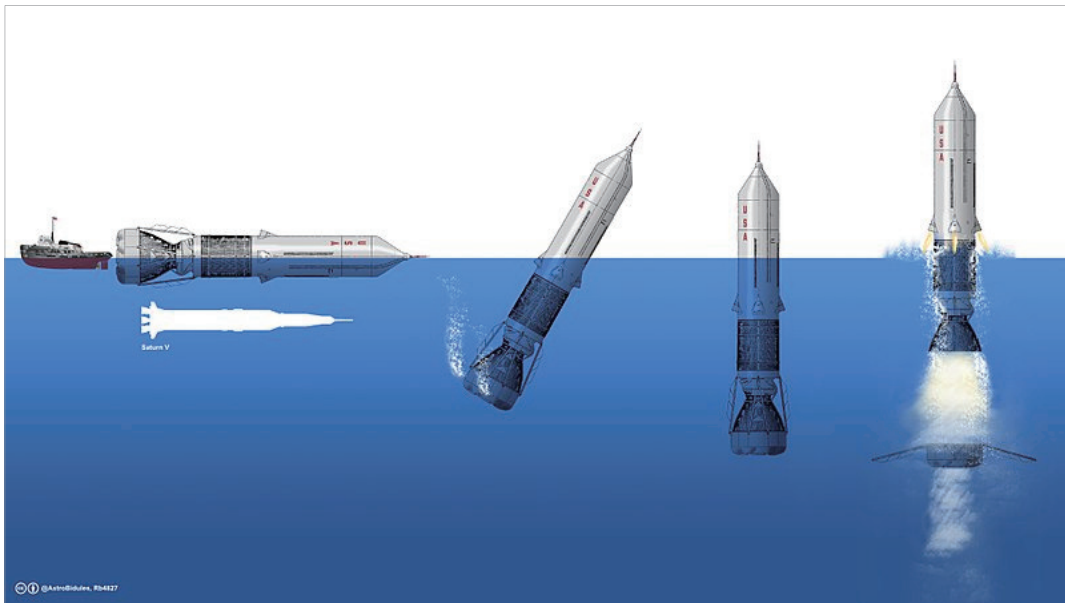
3) 물리학백과 인공위성(Artificial Satellite) 재정리

4) 강동수, 최신 기술변화와 인공지능 무기체계, 2022 안보정세분석, 국가안보문제연구소, 내용을 정리함

460m 정도이다. 위도가 높아지면 높을수록 그 값은 적어져 극의 상공에서는 0이 된다.<sup>5)</sup>

다음은 발사체를 발사하기 위해서는 넓은 공간이 필요하다. 지상에서 발사를 위한 준비나 발사 이후에도 폭발의 위험이 있으므로 경계구역 안으로 출입을 제한하고, 로켓이 폭발하더라도 피해가 가지 않도록 하여야 한다. 발사된 이후에도 잔여물 낙하가 문제가 될 수 있으므로 비행경로를 고려하여 발사 가능 장소를 확보하여야 한다.

전 세계적으로 자체 위성발사 기지를 운영하고 있는 14개국 중 미국이 상업용 발사장을 포함하여 10개의 기지로 가장 많고, 러시아가 6개(Baikonur<sup>6)</sup> 포함), 중국이 5개, 일본, 프랑스가 2개의 기지를 운영 중이며, 호주, 이스라엘, 인도, 이란, 파키스탄, 브라질, 스웨덴, 캐나다 등이 1개의 기지를 운영하고 있다. 북한은 서해, 동해 2개의 기지를 가지고 있으나 실질적인 위성발사는 서해 기지에서만 이루어져 실질적으로는 1개의 기지를 가지고 있는 것으로 보인다. 우리나라는 2009년



〈그림 2-4〉 Sea Dragon 발사 개념

5) 우주개발과 로켓발사장, 과학기술정책연구원, 과학기술정책 123호, 2000. 재정리

6) 카자흐스탄 바이코누르에 위치한 세계 최초 우주선 발사기지이다. 과거 구 소련에 의해 건설되었으며, 현재는 러시아가 임대하여 사용중에 있다.

부터 나로우주센터(전남 고흥)를 운영하고 있다.

해상기반 우주 발사 개념은 60년 이상 된 오래된 개념이며, 우주 선도 기업인 Sea Launch, SpaceX, Blue Origin, Black Arrow Space Technologies 등에서 개발을 진행하고 있다. 3면으로 둘러싸인 대한민국이 우주력 개발을 집중하고 있는 시기에 해상기반 우주 발사도 연구가 필요하다. <그림 2-4>는 Sea Dragon 발사체의 개념이다.

하늘에서 발사하는 개념도 있다. 항공기에 발사하는 방식으로 로켓 비행기를 비행기의 날개 밑에 달아 비행모체에서 발사하는 방식이다. 미국의 페가수스(Pegasus)<sup>7)</sup>는 미 국방부의 데이터 중계위성을 위성궤도에 올리는 데 성공하였으며, 고공에서 발사되므로 공기저항이 적어 로켓에서 필요한 속도를 10~15% 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. <그림 2-5>는 비행기에 장착된 페가수스의 모습이다.



<그림 2-5> 비행기에 장착된 페가서스 모습

(이미지 출처: 위키피디아)

7) 미국의 오비탈 사이언스사의 세계 최초 비행기 발사형 우주로켓으로 1990년 초도비행을 하여 총 45회의 상업용 발사를 하였다. 443kg의 위성을 발사할 수 있다.



〈그림 2-6〉 Spin Launch 발사장 모습

우주 탑재체를 질량 가속기 기술로 우주로 이동시키는 우주기술 개발도 진행중이다. 마치 새총을 쏘는 것처럼 발사하면 발사체 1회 발사 비용을 획기적으로 줄일 수 있다. 〈그림 2-6〉은 스피ن 발사장의 모습이다.

### 3. 우주 개발 현황

#### 3.1 대한민국의 우주 개발 현황

##### 3.1.1 우주개발 추진

우리는 1992년 우리별 1호를 시작으로 현재까지 수십기의 인공위성을 쏘아 올렸다. 인공위성은 사용 목적에 따라 과학위성, 관측위성, GPS위성 등으로 용도에 따라 다양하게 나누어 볼 수 있으며, 2005년 우주개발진흥법 제정 이후 2018년 제3차 우주개발진흥기본계획, 2019년 제2차 위성정보활용 종합계획을 발표하여 우주를 향한 도전을 지속 추진하고 있다. 2020 우주개발 백서에 따르면 국가 우주개발계획 수립 현황은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 국가 우주개발계획 수립 현황

계획명	수립 연월	수립 부처	심의 기구	계획 기간
우주개발중장기 기본계획	1996.04.	과기처	통합과학기술 심의회	1996~2015
제1차 우주개발진흥기본계획	2007.06.	과기부 등 9개 관계부처	국가우주위원회	2007~2016
우주개발사업 세부실천로드맵	2007.11.	과기부 등 9개 관계부처	국가우주위원회	2007~2026
제2차 우주개발진흥기본계획	2011.12.	과기부 등 9개 관계부처	국가우주위원회	2012~2016
우주개발 중장기계획 (제2차 우주개발진흥기본계획 수정)	2013.11.	미래부 등 8개 관계부처	국가우주위원회	2014~2040
우주기술산업화 전략	2013.11.	미래부 등 8개 관계부처	국가우주위원회	2014~2017
제1차 위성정보활용종합계획	2014.05.	미래부 등 8개 관계부처	국가우주위원회	2014~2018
제1차 우주위험대비기본계획	2014.05.	미래부 등 8개 관계부처	국가우주위원회	2014~2023
제3차 우주개발진흥기본계획	2018.02.	과기정통부 등 11개 관계부처	국가우주위원회	2018~2022
제2차 위성정보활용종합계획	2019.02.	과기정통부 등 10개 관계부처	국가우주위원회	2019~2023

우주개발 추진전략은 우주 발사체 기술자립, 인공위성 활용서비스 및 개발 고도화, 우주탐사 시작, 한국형위성항법시스템 구축, 우주혁신 생태계 조성, 우주산업 육성과 우주일자리 창출의 6대 중점전략 분야로 추진되고 있으며 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 제3차 우주개발진흥 기본계획 중점전략과 추진 과제

중점 전략	추진 과제
① 우주 발사체 기술자립	1.1 한국형발사체 자력발사 성공 1.2 발사성공을 위한 지원체계 구축 1.3 발사체기술 지속 고도화
② 인공위성 활용서비스 및 개발 고도화다양화	2.1 국민 생활안전을 위한 위성서비스 고도화다양화 2.2 효율적인 국가위성 개발·활용 체계 구축
③ 우주탐사 시작	3.1 달 탐사 본격 착수 3.2 우주감시 고도화 3.3 다양한 우주 과학탐사 활동 추진
④ 국가위성항법시스템 구축	4.1 시스템 사양 확정과 선행연구 추진 4.2 국가 위성항법시스템(KPS)구축 전략수립과 추진체계 마련
⑤ 우주혁신 생태계 조성	5.1 다양한 혁신주체 육성 5.2 우주 핵심기술 개발 5.3 우주개발 추진체계 개선 5.4 글로벌 우주협력 강화
⑥ 우주산업 육성과 우주 일자리 창출	6.1 우주개발에 민간참여 확대 6.2 우주기술 사업화와 융합 촉진

### 3.1.2 우주 발사체 개발

우주 발사체 개발을 위해 1990년대 과학로켓 개발을 시작으로 최초 우주 발사체인 나로호 발사에 성공하고 한국형발사체(누리호) 개발을 추진하고 있다. 우주 발사체를 가지고 있으면 위성을 원하는 때에 우주 궤도에 안착시킬 수 있다는 의미로 우주 능력의 기본이 된다.

우리나라의 발사체 개발 현황은 <표 3-3>과 같이 KSR-I, KSR-II, KSR-III, 나로호, 한국형발사체(누리호) 순으로 발전해왔다.

〈표 3-3〉 한국의 로켓 개발 현황

구분	KSR-I	KSR-II	KSR-III	나로호 (KSLV-I)	한국형발사체 (KSLV-II)	
목적	1단형 무유도 과학 관측 로켓 국산화 개발 및 한반도 오존층 탐사	초기 자세 제어 기능을 갖춘 2단형 고체추진 과학관측 로켓의 국산화 개발	액체추진로켓 독자 개발 및 소형 위성 발사체 개발을 위한 기반 기술 확보	100kg급 인공위성을 지구 저궤도에 진입시킬 수 있는 발사체 개발 및 독자 개발을 위한 기술과 경험 확보	1.5톤급 실용 위성을 지구 저궤도에 투입시킬 수 있는 발사체 개발 및 우주 발사체 기술확보	
개발기간	'90.7~'93.10	'93.11~'98.06	'97.12~'03.02	'02.08~'13.04	'10.03~'22.10	
개발비(억원)	28.5	52	780	5,025	19,572	
길이(m)	6.7	11.1	14.0	33.0	47.2	
직경(m)	0.42	0.42	1.0	2.9	3.5	
중량(kg)	1,268	2,048	6,000	140,000	200,000	
발사기	1호기	1993.06.04.	1997.07.09.	2002.11.28.	2009.08.25.	2021.10.21.
	2호기	1993.09.01.	1998.06.11.	-	2010.06.10.	2022.06.22.
	3호기	-	-	-	2019.01.30.	-
특징	- 1단형 고체 추진 과학로켓	- 2단형 고체 추진 과학로켓 - 비행 중 2단 분리 성공	- 국내 최초의 액체추진 로켓 독자 개발 성공 - 소형 위성 발사체 기반 기술 확보	- 국내 최초의 위성발사체 개발 - 한·러 공동개발 - 러시아 기술 협력을 통한 체계 기술 확보	- 국내 최초의 실용위성급 위성 발사체 개발 - 국내 독자개발 - 75톤급 액체 엔진 개발	

(출처: 한국항공우주연구원 소개 자료)

누리호는 독자 개발하고 있는 한국형 발사체로 1.5톤급 실용위성을 지구 600~800km 태양동기궤도<sup>8)</sup>에 투입할 수 있는 3단형 발사체이다. 1단은 75톤급 액체 엔진 4기, 2단에는 75톤급 액체 엔진 1기, 3단에는 7톤급 액체 엔진 1기가 사용되며, 2021년 300톤급 3단형 한국형 발사체를 발사하였다.

8) 태양동기궤도(Sun-synchronous orbit)는 행성 주위를 공전하는 물체의 궤도 중 행성 위의 어떤 지점에 대해서도 물체가 그 지점 상공을 항상 같은 평균태양시에 통과하는 궤도이다. 태양동기궤도를 따라 공전하는 물체는 그 궤도면이 1년에 한 바퀴씩 운동하므로 태양과 항상 같은 관계에 있게 된다.

한국형발사체(누리호)는 이전의 나로호와 다르게 국내에서 독자적으로 개발되었으며 국내 최초의 실용 위성급 우주 발사체이다. 누리호를 활용해 2022년부터 2027년까지 국내 개발 위성을 자력 발사할 계획이다.

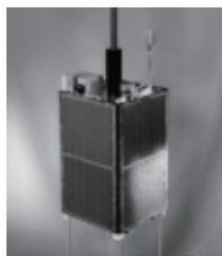
### 3.1.3 인공위성 개발

국내 개발된 인공위성을 사용 목적과 시간 순으로 분류하면 <표 3-4>와 같으며, 임무를 수행하고 있다.

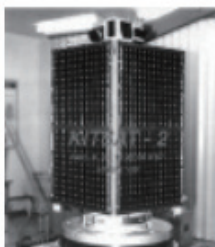
소형위성은 위성 기술 독자 확보, 우주기술 검증 및 지구·우주과학 연구를 위해 1990년부터 지금까지 우리별 1, 2, 3호, 과학기술 위성 1, 2A, 2B, 3호, 나로 과학 위성, 차세대 소형 위성 1호가 개발되었다. 차세대 소형 위성 1호는 과학기술 위성 개발을 통해 축적된 위성 기술을 바탕으로 소형화, 경량화한 100kg급 첨단 위성이다. 우주 과학 및 핵심 기술 검증을 주 임무로 하며, 2018년 12월에 발사되어 저궤도

<표 3-4> 대한민국 위성 현황

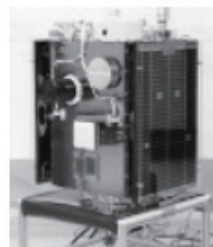
구 분	내 용	활동 시기
소형과학위성	우리별 1호	1992 - 2004
	우리별 2호	1993 - 2002
	우리별 3호	1999 - 2002
	과학기술위성 1호	2003 - 2009
	나로과학위성	2013 - 2014
	과학기술위성 3호	2013 - 2015
	차세대소형위성 1호	2018- 운영중
지구관측위성	아리랑 1호	1999 - 2008
	아리랑 2호	2006 - 2015
	아리랑 3호 (다목적실용위성 3호)	2012 - 운영중
	아리랑 5호 (다목적실용위성 5호)	2013 - 운영중
	아리랑 3A호 (다목적실용위성 3A호)	2015 - 운영중
기상관측위성	천리안 1호	2010 - 운영중
	천리안 2A호	2018 - 운영중
	천리안 2B호	2020 - 운영중



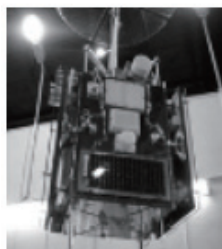
우리별 1호  
(1992년, 50kg)



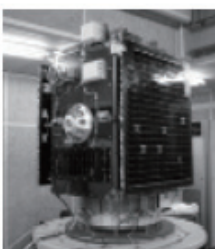
우리별 2호  
(1993년, 50kg)



우리별 3호  
(1999년, 110kg)



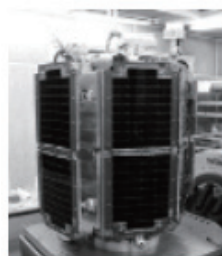
과학기술위성 1호  
(2003년, 100kg)



과학기술위성 2A호  
(2009년, 100kg)



과학기술위성 2B호  
(2010년, 100kg)



나로과학위성  
(2013년, 100kg)



과학기술위성 3호  
(2013년, 170kg)



차세대소형위성 1호  
(2018년, 107kg)

〈그림 3-1〉 소형위성 개발 이력

(출처: 2020 우주개발 백서)

에서 운영 중이다. 차세대 소형위성 2호는 소형 영상레이더 국산화, 우주 방사선 관측을 목표로 현재 개발 중이며, 2022년 하반기 발사될 예정이다. 소형위성 개발 발사연도와 중량은 〈그림 3-1〉과 같다.

국방 분야에서 추진되고 있는 우주 사업은 국내 개발하는 SAR(Synthetic Aperture Radar, 전천후영상레이더) 군집위성, 해외에서 구매하는 차세대 군 통신위성, 국내 항공우주연구원 개발 위탁한 전자광학 위성이 있다. SAR 군집위성은



KOREASAT 116			
NORAD ID:	45920	NORAD ID:	45920
LOCAL TIME:	14:49:47	Int'l Code:	2020-048A
UTC:	05:49:47	Perigee:	35,790.4 km
LATITUDE:	0.03	Apogee:	35,797.4 km
LONGITUDE:	116.21	Inclination:	0.0 °
ALTITUDE [km]:	35780.77	Period:	1,436.1 minutes
ALTITUDE [mi]:	22233.14	Semi major axis:	42164 km
SPEED [km/s]:	3.07	RCS:	Unknown
SPEED [mi/s]:	1.91	Launch date:	<a href="#">July 20, 2020</a>
AZIMUTH:	197.4 SSW	Source:	United States (US)
ELEVATION:	+45.1	Launch site:	AIR FORCE EASTERN TEST RANGE (AFETR)
RIGHT ASCENSION:	11h 31m 44s		
DECLINATION:	-06° 46' 59"		
Local Sidereal Time:	12h 21m 42s		
The satellite is in day light			
SATELLITE PERIOD:	1437m		

〈그림 3-2〉 대한민국의 최초 군사 전용 위성

군정찰위성 개발사업에서 SAR 군집위성을 우주궤도에 전개하여 군에서 요구되는 임무를 수행할 예정이며, 군 통신위성 발사는 2014년 사업에 착수하여 2020년에 ANASIS-II 위성 발사<sup>9)</sup>에 성공하였다. 민군 공용 통신위성으로 활용되었던 무궁화 5호 위성(ANASIS)을 대체할 군 독자 통신위성이다.<sup>10)</sup>

### 3.1.4 우주발사 기지

나로 우주센터는 전남 고흥(외나로도)에 위치한 우리나라 첫 번째 우주센터 (2009.06.11.준공)로, 세계 13번째 우주센터로 인공위성, 로켓과 각종 우주 발사체를 발사할 수 있다. 나로 우주센터는 처음이라 러시아의 기술 협력으로 건설되었다. 1번 발사대는 국내 현대중공업이 건설하였으며, 초속 60m의 태풍 내구성과 총 200회의 로켓 발사를 할 수 있도록 설계되었다. 2021년까지 누리호(KSLV-II) 발사를 위해 우주센터 2단계가 건설되었으며, 현재 2번 발사대가 구축 완료되었으며 2021년 누리호 발사가 이루어졌다. 나로우주센터 조감도는 〈그림 3-3〉과 같다.

나로 우주센터에서는 2009년에는 KSLV-I 나로 1차, 2010년 KSLV-I 나로 2차, 2013년 KSLV-I 나로 3차가 있으며, 2018년 KSLV-II TLV 누리 시험발사체

9) 2020.07.21. 미국 케이프 커내버럴 공군기지의 케네디 우주센터에서 성공적으로 발사되어 고도 630km에서 Falcon-9 발사체로부터 정상적으로 분리되었다.

10) 2022년 안보정세분석, 최신 기술변화와 인공지능 무기체계(강동수), 국가안보문제연구소, 내용을 정리하였다.



〈그림 3-3〉 나로우주센터 조감도

를 발사 성공하였다. 2021년에는 2번 발사대 및 이송로 확장공사를 완료하고, KSLV-II 누리(2021.10.21.)를 발사하였다.

### 3.2 북한의 우주개발 현황

북한의 우주 기술 능력을 분석한 공개된 자료는 찾아보기 힘들다. 2014년 남북한의 우주 기술력 현황을 분석한 자료는 <표 3-5>와 같다. 이러한 기존 연구를 고려하여 자료 획득이 제한되지만, 문헌상 확인할 수 있는 자료들과 공개된 외국의 보고서들을 중심으로 북한의 우주개발현황을 조사해 본다.

〈표 3-5〉 남북한 우주 기술력 현황

구분	국가	기술수준(순위)	기술수준(%)	기술격차(년)
항공 우주분야	한국	추격	72.8	11.7
	북한	후발	56.3	18.1

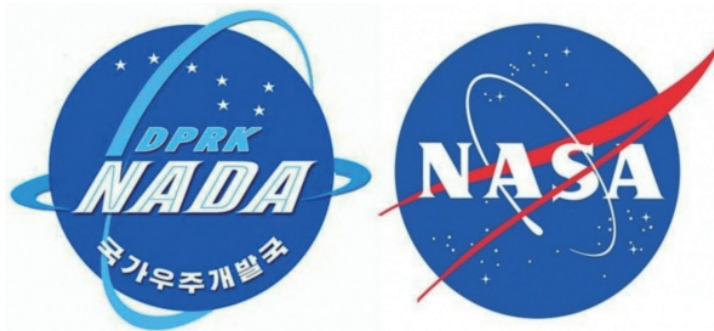
(출처: 최한림 외.(2014). “2013년도 특정분야 기술수준 평가.” 국과학기술기획평가원 연구보고서 2014-082)

### 3.2.1 북한의 국가우주개발국<sup>11)</sup>

북한 국가우주개발국(NADA, National Aerospace Development Administration)은 김정은 정권 출범이후 새롭게 만들어진 우주 발사체 및 인공위성 개발하고 발사를 담당하는 기관이다. 우주 발사체 및 인공위성 개발과 발사뿐만 아니라 동해위성발사장(무수단리)과 서해위성발사장(동창리)을 관리하고 위성관제종합지휘소(평양)를 지휘하고 있다.

국가우주개발국 신설을 결정한 이후 김정은은 2015년 5월 3일(보도일자)에 새로 건설된 국가우주개발국 위성관제종합지휘소를 현지 지도하였다. 위성관제종합지휘소는 연면적 13,770여㎡로 본관과 보조 건물, 측정소 등으로 구성되어 있다. 하지만, 유엔 안전보장이사회는 2016년 3월 북한의 4차 핵실험 및 장거리 로켓 발사에 대응해 2270호를 결의하여 국가우주개발국과 이와 관련 있는 사람들을 제재 대상으로 지정하고 있다. 국제사회는 북한의 우주 발사체 발사 실험이 장거리 미사일 발사와 연관이 많다고 생각하는 것이다.

북한은 2013년 4월「우주개발법」제정과 최고인민회의 결정으로 국가우주개발국을 신설하기로 결정하였다. 북한의 국가우주개발국이 장거리 로켓 발사와 관련한 각종 보도를 발표하고 있다. 북한은 국가우주개발국 신설 이전에는 조선우주공간기술위원회라는 기관이 있었다. 1998년 10월 25일 중국 환구시보는 ‘우주공간기술위가 미사일, 탑재 로켓 및 위성 등의 연구개발과 그에 상응하는 시험 등을 통일적으로 주관한다’고 설명하고 있다. 북한 국가우주개발국의 로고는 <그림 3-4>와 같이 미국의 나사 로고와 유사하다.



<그림 3-4> 북한 국가우주개발국과 미국 나사의 로고

11) 통일부 북한정보포털의 내용을 정리(2022.04.14. 검색)

김정일 체제에서 2009년 2월 처음 등장한 북한의 우주공간기술위원회는 2009년 2월 25일 조선 우주공간기술위 대변인 담화형식으로 광명성-2호 시험통신위성 발사 준비를 대내외에 발표하였다. 또한, 2012년에도 3차례(3월, 4월, 12월) 대변인 담화와 보도 형식으로 광명성-3호(1호, 2호) 발사와 관련한 소식을 대내외에 홍보하였다.

북한은 국가우주개발국을 이용하여 우주 발사체와 인공위성 개발과 발사를 정당화하고 국제사회에서 인정받으려고 노력하고 있다. 이러한 노력을 위해 북한은 국가우주개발국이 국제우주연맹(IAF)에 가입을 신청해 승인을 받았다가, 2015년 10월 IAF 제66차 연례총회 최종 심의에서 북한 국가우주개발국의 가입 승인 취소를 결정을 받았다. 국가우주개발국(NADA)의 내부 모습은 <그림 3-5>와 같다.

통일부에서 발행한 북한의 기관별 인명록(2021)에 따르면 북한 우주개발국은 국장 유철우, 부국장 김인철, 부부장 정동길로 보직되어 있으며, 예하에 우주환경시험기지과 조선우주공간기술위원회를 두고 있다. 우주환경시험기지는 가속도 시험실, 광학기구시험장, 열진공 시험실, 우주비행 기구의 조립 및 시험장, 우주재료시험실, 음향시험실, 자기마당 시험실, 전자기 적합성 시험실, 진동 시험실, 질량특성



<그림 3-5> 국가우주개발국(NADA)의 내부 모습

시험장으로 구성되어 있다.

통일부 북한정보포털에는 국가우주개발국장 유철우의 사진을 검색할 수 있으며 통일부 북한정보포털에는 전 국가우주개발국 국장으로 표시되어 있으나 기관별 인명록(2021년)에는 <그림 3-6>과 같이 현 보직자로 표시되어 있으며 김정은 방문 시 같이 찍힌 사진이 다수 있다.



**유철우(남성)**  
**생년월일** 연도미상  
**소속/직책** 前 국가우주개발국 국장, 前 당 중앙위원회 후보위원  
**출생지**

<그림 3-6> 국가우주개발국 국장

(출처: 통일부 북한정보포털)

위성관제종합지휘소는 평양에 있으며, 연건축 면적이 1만 3,770여㎡이고 기본건물과 측정소들, 보조 건물 등으로 이루어져 있다고 알려져 있다.<sup>12)</sup> 평양 위성관제 종합지휘소 모습은 <그림 3-7>과 같다.



<그림 3-7> 평양 위성관제종합지휘소 모습

12) 출처: 북, '위성관제종합지휘소' 새로 건설(2015.05.03.일자), 통일뉴스 (2022.05.02. 검색)

### 3.2.2 북한의 발사체(탄도미사일) 개발 현황

북한은 광명성 인공위성의 발사체로 은하 로켓을 개발하였다. 2006년 은하 1호는 무수단에서 개발된 대포동 미사일을 모체로 개발되었으며, 2009년에 은하 2호가 발사되었으나 인공위성의 궤도 진입에는 실패하였다. 이후 은하 3호는 1차 발사에서 135초만에 폭발하여 실패하였으나 2차 발사에서 광명성 3호 인공위성을 궤도에 안착시켰다. 공개되어 있는 자료들을 바탕으로 북한의 발사체 개발 현황을 정리해 보면 <표 3-6>과 같으며 세부 수치는 확증이 필요하다.

국방백서 2020에 따르면 북한은 한반도를 포함한 주변국, 미국에 대한 직접적인 타격능력을 보유하고 있다. 북한의 탄도미사일 개발 역사는 1970년대부터 탄도미사일 개발에 착수하여 1980년대 중반에 스킨드-B(300km)와 스킨드-C(500km), 1990년대 후반에는 사거리 노동(1,300km) 미사일, 스킨드 미사일의 사거리를 연장시킨 스킨드-ER을 배치하였다. 2007년에는 무수단 미사일(3,000km 이상)을 배치하였다.<sup>13)</sup>

<표 3-6> 북한의 발사체 개발 현황

구 분		백두산 로켓 대포동 1호	은하 1호 대포동 2호	은하2호 대포동 2호	은하 3호 (1차)	은하 3호 (2차)	은하 3호 (개량)
연료	1단	액체	액체	액체	액체	노동엔진	노동엔진
	2단	액체	액체	액체	액체	스킨드엔진	스킨드엔진
	3단	-	고체	고체	미상	미상	미상
크기	1단 직경	-	2.2m	2.2m	2.2m	2.4m	-
	1단 길이	-	17m	17m	-	-	-
	2단 직경	-	1.5m	1.5m	-	-	-
	2단 길이	-	14m	14m	-	-	-
총길이		27m	32m	32m	35.8m	30m	미상
총중량		21톤	60톤	60톤	79톤	91톤	미상
사거리		2,200km	6,000km	6,000km	10,000km	12,000km	미상
탄두 중량		1톤	1톤	1톤	1톤	2톤	미상
발사장소		무수단	무수단	무수단	동창리	동창리	동창리
시험발사일		1998.08.31.	2006.07.04.	2009.04.05.	2012.04.13.	2012.12.12.	2016.02.07.

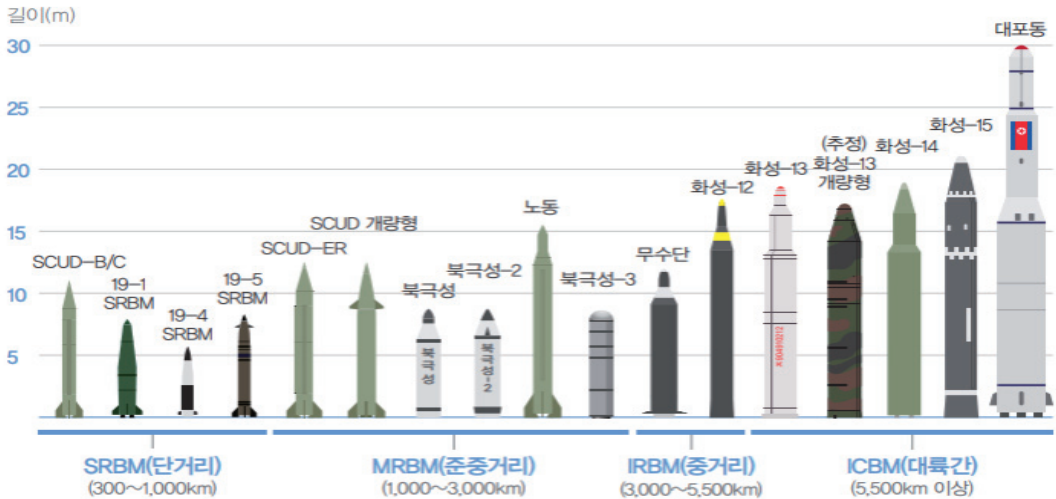
13) 출처: 국방백서 2020, P.28.

북한은 2012년 이후 작전 배치되었거나 개발 중인 미사일에 대한 시험 발사를 본격적으로 시작하여 2017년에는 화성-12형을 북태평양 방향으로 발사하였고, 미국 본토를 위협할 수 있는 화성-14형과 15형을 시험 발사하였다. 2018년에는 미사일 시험 발사가 없었으나, 2019년 이후 작전 운용상 관리가 유리한 다종의 고체추진 단거리 탄도미사일과 신형 잠수함발사탄도미사일(SLBM) 북극성-3형을 시험 발사하였다.<sup>14)</sup> 북한이 현재 보유하고 있는 탄도미사일의 종류와 사거리는 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 북한의 미사일 종류 및 제원

구분	SCUD-B/C	19-5 SRBM	노동	무수단	대포동 2호	화성-15형	화성-17형
사거리(km)	300~500	약400	1,300	3,000이상	10,000이상	10,000이상	15,000이상
탄두중량(kg)	1,000	미상	700	650	650	1000	미상
비고	작전배치	시험발사	작전배치	작전배치	발사	시험발사	시험발사

2020년 10월에는 노동당 설립 75주년 열병식에서 신형 대륙간탄도미사일(ICBM)과 ‘북극성-4s’으로 표기된 신형 잠수함발사탄도미사일(SLBM) 등 총 9종의 탄도미사일을 공개하였다. 국방백서에 따르면 북한이 보유한 탄도미사일의 종류는 <그림 3-8>과 같다.



<그림 3-8> 북한 보유 탄도미사일 종류

(출처: 국방백서 2020, P.29.)

14) 출처: 국방백서 2020, P.28.

북한은 <그림 3-9>와 같이 2017년 11월 29일 평성시 일대에서 화성-15형을 최대 정점 고도 4,475km까지 상승했고, 950km를 53분간 비행했다고 주장하였다. 완전히 새로운 형태의 ICBM급 미사일로 2단 추진부를 개량해 사거리를 늘린 것으로 보인다. 화성-14형과 같이 이동형 TEL에서 직접 발사하지 않고 따로 세운 직립대에서 별도 발사하였다.



<그림 3-9> 9축 화성-15형

2020년 10월 10일 노동당 창건일 열병식에서 공개된 화성-17형은 <그림 3-10>과 같다. 2022년 2월 27일에는 고도 약 620km, 비행거리 약 300km, 3월 5일에는 고도 약 560km, 비행거리 약 270km로 탐지되었다. 북한은 화성-17형이 최대 정점 고도 6,248.5km까지 상승했고, 1,090km를 비행했다고 주장하였다.

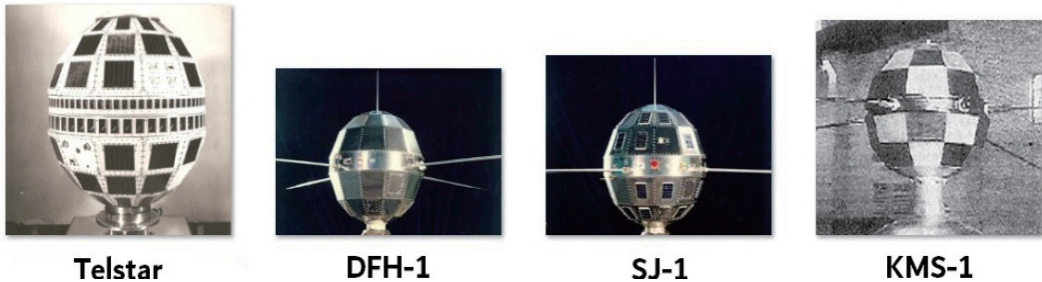


<그림 3-10> 11축 화성-17형

### 3.2.3 북한의 위성 발사 현황

북한은 동해위성발사장(무수단리)과 서해위성발사장(동창리)을 보유하고 있으며, 자체적으로 광명성 1호, 광명성 2호, 광명성 3호, 광명성 3-2호, 광명성 4호를 개발하였고, 탄도미사일에 기반한 은하 3호 발사체를 가지고 있다.

광명성 1호는 1998년 8월 31일 백두산 로켓(대포동 1호)에 실려 발사되었으나, 궤도 진입에는 실패하였다. 하지만 북한은 지표면으로부터 최단 218.82km, 최장 6,978.2km의 타원궤도를 165분 6초 주기로 돌고 있다고 주장하였다. 광명성 1호 인공위성의 모체로 판단되는 Telstar와 중국의 동방홍 1호의 모습은 <그림 3-11>과 같다.



<그림 3-11> 중국의 동방홍 1호와 광명성 1호 인공위성

광명성 2호는 <그림 3-12>와 같이 2009년 4월 13일 은하 2호 로켓(대포동 3호)에 실려 발사되었으나 135초 이후 폭발하여 궤도 진입에 실패하였다. 하지만 북한은 성공 기념 우표를 발간하고 시험통신위성으로 발사되어 9분 2초만에 자기 궤도에 정상진입하였다고 선전하였다.

광명성 3호는 <그림 3-13>과 같이 2012년 4월 13일 발사되었으나 발사 1분만에 실패하여 그해 12월 12일 광명성 3호 2호기를 서해위성발사장(무수단)에서 남쪽으로 발사하여 성공하였다. 궤도 경사각 97.4도, 근지점 고도 499.7km, 원지점 고도 584.18km, 95분 29초 주기로 지구를 돌고 있다. 은하 3호 발사체로 발사한 인공위성인 광명성 3호 인공위성은 현재에도 관측되고 있다.

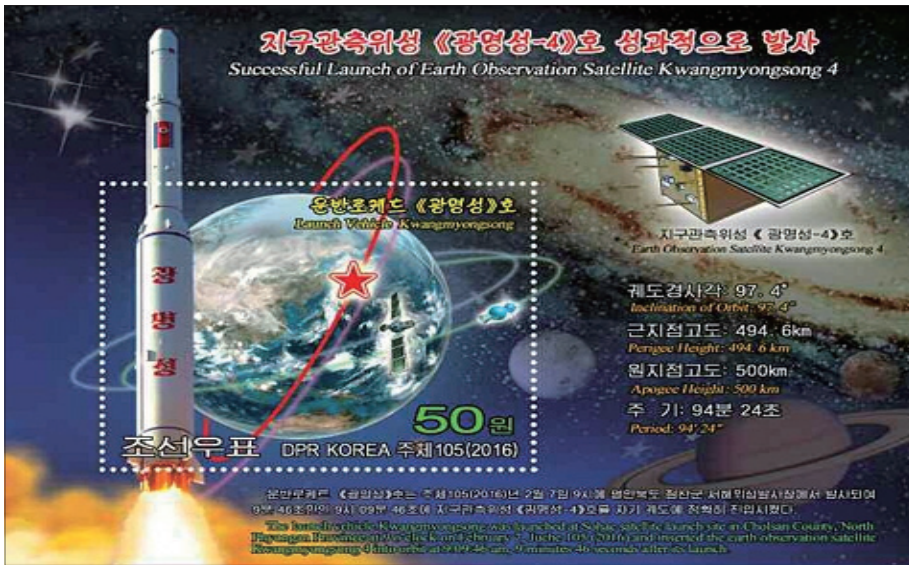


〈그림 3-12〉 광명성 2호 발사 기념 우표

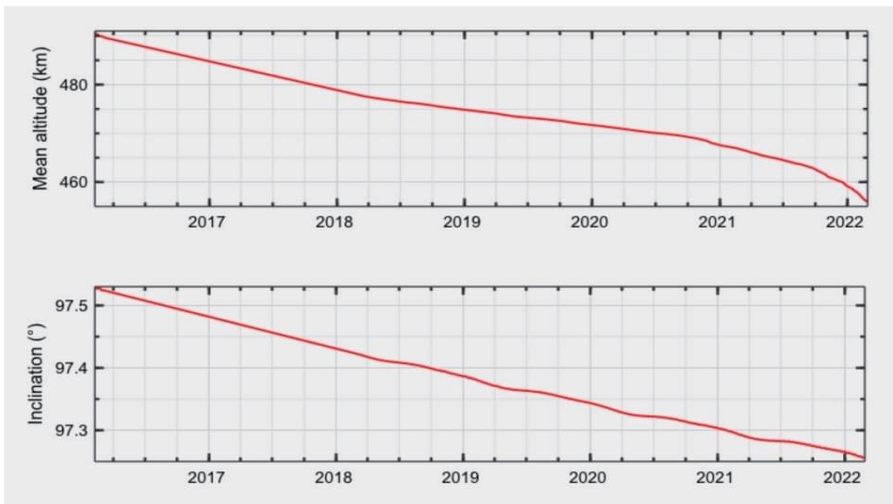


〈그림 3-13〉 광명성 3호-2호 발사 기념 우표

광명성 4호는 2016년 2월 7일 서해위성발사장(무수단)에서 남쪽으로 발사되었으며, 3단 로켓 분리를 거쳐 9분 46초 후에 위성이 정상적으로 궤도에 진입하였다. 북한은 궤도 경사각은 97.4도로 태양동기 궤도를 돌고 있으며, 근지점 고도 494.6km, 원지점 고도 500km로 주기는 94분 24초로 정상 작동하고 있다고 선전하고 있다. 광명성 4호의 발사 모습은 <그림 3-14>와 같다.



<그림 3-14> 광명성 4호 발사 기념 우표



<그림 3-15> 광명성4호의 평균고도와 궤도경사각 (2017~2022)

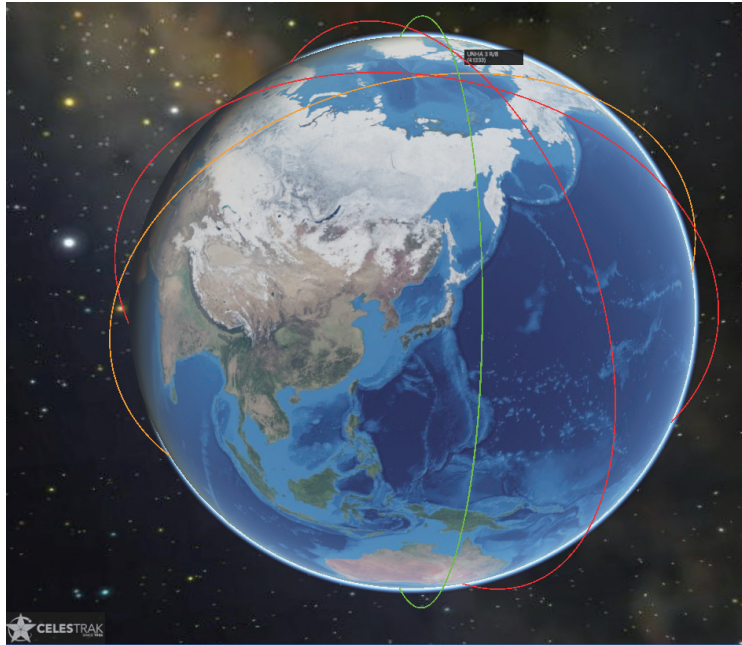
현재 광명성 4호는 궤도 경사각은 약 97.25도로 태양동기 궤도를 돌고 있으며, <그림 3-15>와 같이 발사 이후 고도는 계속 낮아져 2022년 현재 평균 고도는 455km 정도의 위치에 있다.

북한이 발사한 위성을 종합해 보면 <표 3-8>과 같으며 궤도 100km, 직경 10cm이상의 지구궤도를 회전하는 모든 인공물들에게 부여되는 위성 목록 번호인 NORAD(North American Aerospace Defense) ID는 광명성 3호(은하 3호 발사체)부터 부여되었다. 인공위성은 동해위성발사장(무수단)에서 동쪽으로 발사한 것은 모두 실패하였고, 서해위성발사장(동창리)에서 남쪽으로 발사한 경우만 인공위성이 정상적으로 궤도에 진입하였다.

<표 3-8> 북한의 위성 발사 현황

발사체	위성	NORAD ID	발사일	비행종료	현상태	발사장소
백두산 로켓 대포동 1호	광명성1호	진입실패	1998.08.31.	1단 95초 2단 144초 3단 27초	-	동해발사장 (무수단리)
은하 1호(추정) 대포동 2호	-	진입실패	2006.07.04.	-	-	
은하 2호 대포동 3호	광명성2호	진입실패	2009.04.05.	-	-	
은하 3호	광명성3호	진입실패	2012.04.13.	135초	-	서해발사장 (동창리)
은하 3호	광명서3-2호 KMS 3-2	39026	2012.12.12.	-	작동중지	
UNHA 3 R/B	-	39027	2012.12.12	-	관측	
UNHA 3 DEB	-	39028	2012.12.12	2018.08.10.	-	
UNHA 3 DEB	-	39029	2012.12.12	2021.02.16.	-	
은하 3호 (개량)	광명서4호 KMS 4	41332	2016.02.02.	-	작동중	
UNHA 3 R/B	-	41333	2016.02.02.	-	관측	

보고서를 작성하고 있는 2022년 8월 기준으로 광명성3-2호(39026), 은하3호 R/B(39027), 광명성4호(41332), 은하3호 R/B(41333)가 하늘에서 관측되고 있으며, 광명성 4호만이 활성화되어 있다. 위성궤도를 가시화해주는 Celestrak을 이용하여 북한의 위성들의 관측되는 모습은 <그림 3-16>과 같다.



<그림 3-16> 관측되고 있는 북한의 위성(2022.7.15.)

북한은 잠수함 발사가 가능한 잠수함발사탄도미사일(SLBM, Submarine Launched Ballistic Missile) 개발도 진행하고 있다. 2018년에는 미사일 시험 발사가 없었으나, 2019년 이후 다종의 고체추진 단거리 탄도미사일과 신형 잠수함발사탄도미사일(SLBM) 북극성-3형을 시험 발사하였다. 또한, 2020년 10월 당 설립 75주년 열병식에서 '북극성-4사'으로 표기된 신형 잠수함발사탄도미사일을 공개하였으며 '사'은 수중에서 발사되기 때문에 붙인 것으로 추정되고 있다. 최근 2022년 5월에는 함경남도 신포에서 탄도미사일 발사가 탐지되었으며, 2여년 만에 SLBM 시험발사를 한 것으로 추정하고 있다. 공개된 북한의 SLBM 개발 현황을 종합해 보면 <표 3-9>와 같다.

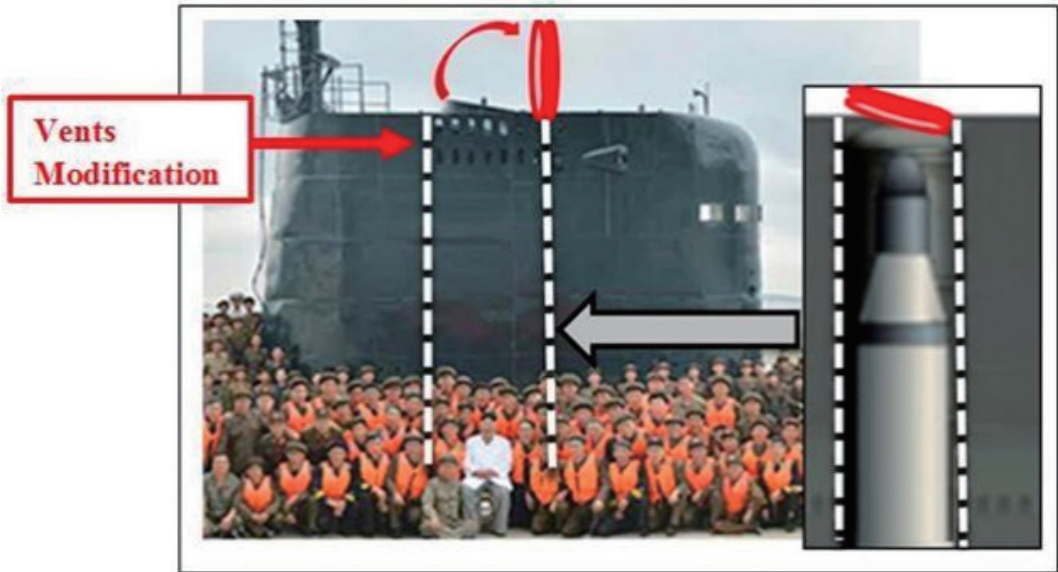
〈표 3-9〉 북한의 SLBM 개발 현황

구 분	북극성 1형	북극성 2형	북극성 3형	북극성 4형	북극성 5형	미니 SLBM
시기	2015.05.	2016.04.	2019.10.02.	2020.10.	2021.01.14	2021.10.11
공개	시험발사	시험발사	시험발사	75주년 열병식	8차당대회열병식	국방발전전람회
발사장소	신포급	지상발사	바지선/신포급	-	-	-
길이	7.35m	7.35m	10m	10m	탄두부 길어짐	8.5m
직경	1.1m	1.1m	1.4m	1.7m	1.8m	1.1m보다 작음
탄두형태	뾰족	뾰족	둥근	둥근	둥근	뾰족
사거리	1,300km	1,300km	2,000km	2,000km	2,000km	단거리



〈그림 3-17〉 2021년 열병식에서 공개된 북극성-5사

UN 보고서에 따르면 〈그림 3-17〉과 같이 북한은 고래급 잠수함을 개조하여 수직발사 장치를 설치하고 수직 발사가 가능한 것으로 보인다.



〈그림 3-18〉 고래급 잠수함의 수직발사관(1개) 모습

### 3.2.4 북한의 위성발사장

북한은 무수단리와 동창리에 각각 동해위성발사장과 서해위성발사장을 보유하고 있으며, 서해발사대에서 남쪽으로 발사한 2012년, 2016년에 인공위성을 궤도에 진입시켰다.

서해위성발사장은 〈그림 3-19〉와 같이 평안북도 철산군 동창리에 위치하고 동창리 또는 서해위성발사장으로 우리에게 알려진 곳이다. 무수단리 미사일 발사장 보다는 규모가 크고 은하 3호 발사체를 이용하여 광명성 3-2호와 광명성 4호 인공위성을 남쪽으로 발사하여 성공한 곳으로 각종 실험 설비를 갖추고 있는 것으로 추정된다. 2022년 3월에는 대형 운반로켓을 발사할 수 있도록 발사장 구역, 로켓 조립, 연동시험 시설들을 확장하고, 연료 주입시설과 보급계통 증설, 발사 관제시설 및 주요 기술 현대화를 추진하고 있다고 한다.



〈그림 3-19〉 서해발사대 위치 및 은하3호 모습

동해위성발사장은 1990년대에 지어진 것으로 추정되고 함경남도 화대군 무수단리(대포동리)에 위치하고 있다. 인공위성이 성공적으로 발사된 적은 없으나 1998년 8월 31일 탄도미사일이 최초 발사되어 여기의 지명을 따 대포동 미사일 또는 무수단 미사일로 불리기도 하였다. 2013년에 대대적인 확장 공사가 이루어져 미사일 발사대, 엔진 시험장, 미사일 조립 빌딩, 미사일 통제소, 지상 추적시설이 있다.

## 4. 우주 발사체와 탄도미사일

### 4.1 우주 발사체와 탄도미사일 특성

인공위성이나 우주선 발사를 위한 우주 발사체는 탄도미사일과 자주 비교된다. 우주 발사체는 탄도미사일과 비슷한 원리와 발사체의 구조로 제작과 발사 기술이 유사하며 이러한 기술은 국가 안보와 군사적 측면에서 중요한 전략 자산이 된다. 미국을 비롯한 선진 각국은 이미 발사체 기술을 확보하고 발전시키고 있으며 발사체의 기술 이전을 제한하고 있다. 선진 10개국<sup>15)</sup>이 우주 발사체의 능력을 보유하고 있으며, 1톤 이상의 위성 발사가 가능한 국가는 6개국(미국, 러시아, 유럽, 일본, 중국, 인도)으로 알려져 있다. 또한, 미국, 러시아 등 7개국<sup>16)</sup>이 MIRV(Multiple Independently Targetable Vehicle) 형태의 다탄두 발사 능력도 가지고 있다.

우주 발사체는 우주선이나 인공위성을 일정한 위치에 보내는 것이 목적이지만, 탄도미사일은 발사 이후 정점 고도에서 대기권으로 재진입 단계(Re-entry Phase)를 거쳐 핵이나 폭탄을 수송하여 목표물을 타격하여 무력화시키는 것이다. 그리고, 발사 이후 비행 궤적을 보면 확연히 다른 모습을 보인다. 일반적으로 우주 발사체는 수직으로 발사되고, 탄도미사일은 수직으로 발사되나 곧바로 사거리를 조절하기 위해 일정각도로 누워서 날아간다.

일반인이 외부 형상으로 우주 발사체와 탄도미사일을 구별하는 것은 어려운 일이며, 우주 발사체와 탄도미사일은 다수의 유사한 기술과 구성품을 공유한다.<sup>17)</sup> 하지만 재진입 제어 기술 등 다른 기술도 필요하다. 또한, 우주 발사체는 환경 및 성능 증진을 위해 액체추진제를 사용하는 추세이지만, 대륙간탄도미사일은 준비시간이 상대적으로 짧은 고체추진제를 선호한다. 일반적으로 액체연료와 산화제는 발사 직전에 주입해야 되고 주입시간이 길어 감시정찰 자산에 탐지될 확률이 높다. 이러한 특성들을 정리해 보면 <표 4-11>과 같다.

15) 선진 10개국과 발사연도는 다음과 같다. 러시아('57), 미국('58), 유럽('65), 중국('70), 일본('70), 영국('71), 인도('80), 이스라엘('88), 이란('09), 북한('12)



16) 미국, 러시아, 중국, 영국, 프랑스, 파키스탄, 인도가 다탄두 발사 능력을 가지고 있다.

17) 장영근, 탄도미사일과 위성발사체, 어떻게 다른가?, ifs POST, 2016.

〈표 4-1〉 우주 발사체와 탄도미사일 비교

구분	우주 발사체	탄도미사일
목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>추력과 비추력의 극대화하여 페이로드를 목표지점에 안착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>빠르게 발사하는 능력 적의 요격에 살아남아 표적을 타격</li> </ul>
발사 운용	<ul style="list-style-type: none"> <li>수일 또는 수주 발사 준비</li> <li>발사전 부품 및 상태 체크</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>은밀히 가능한 빨리 발사</li> <li>생존성이 높음</li> </ul>
발사 기상	<ul style="list-style-type: none"> <li>구름 (운량)</li> <li>강수 (시간당 2.5mm 미만)</li> <li>풍속 (지상 평균 14m/s 이하)</li> <li>기온 (-10℃ ~ 35℃)</li> <li>습도 (25도 기준 98% 이하)</li> <li>압력 (94.7~104kPA)</li> <li>지상풍, 고층풍,</li> <li>낙뢰 (뇌우 내부 혹은 뇌우에서 낙뢰가 발생한 후 30분을 대기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>필요 시 악천후에서도 발사</li> </ul> <p>※ 북한의 경우도 1984년~2022년 7월 까지 193발을 미사일 발사 중에 영하 10도 이하에서 발사한 경우가 5건(3%) 있었음</p>
발사방향	<ul style="list-style-type: none"> <li>수직으로 상승</li> <li>요구되는 선회 방향의 속도를 얻기 위해 궤적의 마지막 단계(2단 또는 3단)에서는 통상 낮은 추력의 엔진 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수직 발사되고 사거리 연장을 위해 일반적으로 일정 경사각으로 비행</li> </ul>
비행궤적	<ul style="list-style-type: none"> <li>수직으로 비행하고 일정 궤도이후 잔여물이 낙하함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>포물선을 이룸</li> <li>최근 초음속탄도미사일은 운동능력이 있어 비행궤적이 일정하지 않음</li> </ul>
연료	<ul style="list-style-type: none"> <li>극저온 연료 사용</li> <li>액체 연료 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고체 연료 사용</li> <li>장기간 저장가능한 액체 연료 사용</li> </ul>
탑재물	<ul style="list-style-type: none"> <li>인공위성 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WMD(핵, 화학, 생물학 등)</li> <li>탄두</li> </ul>
최저속도	<ul style="list-style-type: none"> <li>시속 29,000 km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시속 8,000 km</li> </ul>
재진입 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기권 재진입 기술이 필요 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기권 재진입을 위한 탄두 보호(열차폐막 등) 필요</li> <li>재진입 제어 기술 필요</li> </ul>

운용되는 발사 기상은 탄도미사일이 악천후에도 필요시에 발사해야 되는 것과는 달리 우주 발사체는 발사 기상 제한 조건을 엄격히 지키고 있다. 한국의 항공우주 연구원과 미국 항공우주국(NASA)은 발사 시에 기상 조건을 설정하고 활용 중이며 일반적으로 뇌우나 풍속이 15m/s 이상이면 발사를 순연하고 있다. 미군의 항공우주 작전의 기상을 담당하는 우주군 제45기상전대(45WS, 45th Weather Squadron)<sup>18)</sup>도 우주 발사에 지장을 줄 수 있는 기상 요소로 풍속, 기온, 강수를 들고 있다. 로켓 임무가 있을시 <그림 4-1>과 같이 예보한다.

 <b>Launch Mission Execution Forecast</b> 																													
<b>Mission:</b> Delta IV Heavy L-44 <b>Issued:</b> 27 Aug 2020 / 1600L (2000Z) <b>Valid:</b> 29 Aug 2020 / DURING WINDOW																													
<b>Forecast Discussion:</b> A pattern change will turn winds to the southwest through the weekend. This will bring an increased chance of afternoon and evening thunderstorms to the Spaceport each day as sea breeze interactions become more likely. For MST Roll Friday evening, scattered showers and thunderstorms capable of producing strong wind gusts are expected. These storms are expected to dissipate late in the evening, but lingering cloud cover from this activity will bring a small chance for a Thick Cloud Layer Rule violation during the launch window early Saturday morning. Offshore flow will strengthen further over the weekend as a frontal boundary moves into the southeastern US, resulting in a continued elevated chance of showers and storms, especially in the afternoon and early evening. This will maintain at least a small chance for a Thick Cloud Layer Rule violation in the event of a 24- or 48-hour delay.																													
<b>Launch Day</b>	<b>Probability of Violating Weather Constraints</b> <b>20%</b> Primary Concerns: Thick Cloud Layer Rule																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Weather Conditions</th> <th colspan="2">Clouds</th> <th rowspan="2">Additional Risk Criteria</th> </tr> <tr> <th>Type</th> <th>Coverage</th> <th>Base (ft)</th> <th>Top (ft)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weather/Visibility:</td> <td>None / 7 mi.</td> <td>Altostratus</td> <td>Broken</td> <td>16,000</td> <td>20,000</td> <td rowspan="3">Solar Activity: Low</td> </tr> <tr> <td>Temp/Humidity:</td> <td>80°F / 92%</td> <td>Cirrostratus</td> <td>Broken</td> <td>25,000</td> <td>30,000</td> </tr> <tr> <td>Ground Winds (306'):</td> <td>230° @ 8 - 13 knots</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)	Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Broken	16,000	20,000	Solar Activity: Low	Temp/Humidity:	80°F / 92%	Cirrostratus	Broken	25,000	30,000	Ground Winds (306'):	230° @ 8 - 13 knots				
	Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria																								
	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)																									
Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Broken	16,000	20,000	Solar Activity: Low																							
Temp/Humidity:	80°F / 92%	Cirrostratus	Broken	25,000	30,000																								
Ground Winds (306'):	230° @ 8 - 13 knots																												
<b>Probability of Violating Weather Constraints</b> <b>30%</b> Primary Concerns: Thick Cloud Layer Rule																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Weather Conditions</th> <th colspan="2">Clouds</th> <th rowspan="2">Additional Risk Criteria</th> </tr> <tr> <th>Type</th> <th>Coverage</th> <th>Base (ft)</th> <th>Top (ft)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weather/Visibility:</td> <td>None / 7 mi.</td> <td>Altostratus</td> <td>Broken</td> <td>15,000</td> <td>19,000</td> <td rowspan="3">Solar Activity: Low</td> </tr> <tr> <td>Temp/Humidity:</td> <td>79°F / 93%</td> <td>Cirrostratus</td> <td>Broken</td> <td>28,000</td> <td>32,000</td> </tr> <tr> <td>Ground Winds (306'):</td> <td>240° @ 11 - 16 knots</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)	Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Broken	15,000	19,000	Solar Activity: Low	Temp/Humidity:	79°F / 93%	Cirrostratus	Broken	28,000	32,000	Ground Winds (306'):	240° @ 11 - 16 knots				
Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria																									
Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)																										
Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Broken	15,000	19,000	Solar Activity: Low																							
Temp/Humidity:	79°F / 93%	Cirrostratus	Broken	28,000	32,000																								
Ground Winds (306'):	240° @ 11 - 16 knots																												
<b>24-Hour Delay</b>	<b>Probability of Violating Weather Constraints</b> <b>20%</b> Primary Concerns: Thick Cloud Layer Rule																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Weather Conditions</th> <th colspan="2">Clouds</th> <th rowspan="2">Additional Risk Criteria</th> </tr> <tr> <th>Type</th> <th>Coverage</th> <th>Base (ft)</th> <th>Top (ft)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weather/Visibility:</td> <td>None / 7 mi.</td> <td>Altostratus</td> <td>Scattered</td> <td>15,000</td> <td>19,000</td> <td rowspan="3">Solar Activity: Low</td> </tr> <tr> <td>Temp/Humidity:</td> <td>78°F / 94%</td> <td>Cirrus</td> <td>Scattered</td> <td>28,000</td> <td>32,000</td> </tr> <tr> <td>Ground Winds (306'):</td> <td>250° @ 8 - 13 knots</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)	Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Scattered	15,000	19,000	Solar Activity: Low	Temp/Humidity:	78°F / 94%	Cirrus	Scattered	28,000	32,000	Ground Winds (306'):	250° @ 8 - 13 knots				
	Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria																								
	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)																									
Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Scattered	15,000	19,000	Solar Activity: Low																							
Temp/Humidity:	78°F / 94%	Cirrus	Scattered	28,000	32,000																								
Ground Winds (306'):	250° @ 8 - 13 knots																												
<b>Probability of Violating Weather Constraints</b> <b>20%</b> Primary Concerns: Thick Cloud Layer Rule																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Weather Conditions</th> <th colspan="2">Clouds</th> <th rowspan="2">Additional Risk Criteria</th> </tr> <tr> <th>Type</th> <th>Coverage</th> <th>Base (ft)</th> <th>Top (ft)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weather/Visibility:</td> <td>None / 7 mi.</td> <td>Altostratus</td> <td>Scattered</td> <td>15,000</td> <td>19,000</td> <td rowspan="3">Solar Activity: Low</td> </tr> <tr> <td>Temp/Humidity:</td> <td>78°F / 94%</td> <td>Cirrus</td> <td>Scattered</td> <td>28,000</td> <td>32,000</td> </tr> <tr> <td>Ground Winds (306'):</td> <td>250° @ 8 - 13 knots</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria	Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)	Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Scattered	15,000	19,000	Solar Activity: Low	Temp/Humidity:	78°F / 94%	Cirrus	Scattered	28,000	32,000	Ground Winds (306'):	250° @ 8 - 13 knots				
Weather Conditions		Clouds		Additional Risk Criteria																									
Type	Coverage	Base (ft)	Top (ft)																										
Weather/Visibility:	None / 7 mi.	Altostratus	Scattered	15,000	19,000	Solar Activity: Low																							
Temp/Humidity:	78°F / 94%	Cirrus	Scattered	28,000	32,000																								
Ground Winds (306'):	250° @ 8 - 13 knots																												
<b>48-Hour Delay</b>	<small>Note: The Probability of Violation (POV) is the chance that a Lightning Launch Commit Criteria (LLCC) or certain user constraints (surface winds, precipitation, and temperatures, etc.) will be violated during the launch window. It does not take into account upper-level wind shear and solar activity.</small>																												
	<b>Next Forecast Will Be Issued</b> 28 Aug 2020																												

<그림 4-1> 미국 45기상대대의 발사 기상 예보 사례

18) 플로리다주 패트릭 우주군 기지에 있는 제45기상비행대대(45WS)는 항공과 우주 작전을 위한 기상 관측, 예보, 주의보, 경고를 위한 기상 평가를 수행한다. 케네디 우주 센터와 케이프커내버럴 우주 기지에서 우주 왕복선 발사를 위한 기상 평가를 전문으로 한다.

북한의 경우도 1984년부터 탄도미사일 발사 시기에 발사장 주변의 기상 데이터를 살펴보면 영하 10도 정도의 날씨에 발사한 경우가 몇 차례 있었다. 참고로 김정은 집권 이후 하루 중 오전에 발사하는 경우가 많았다.

비행궤적 특성은 우주 발사체는 수직으로 비행하고 일정 궤도 이후 잔여물이 낙하하고, 탄도미사일은 포물선을 이루고 있다. 하지만, 최근 초음속탄도미사일은 운동능력이 있어 비행궤적이 일정하지 않다.

탄도미사일의 최대사거리를 나타내는 비행궤적을 최소에너지궤적(MET: Minimum Energy Trajectory)라고 하고, 이것은 탄도미사일 자체 추진 에너지로 가장 멀리 비행할 수 있는 최대사거리로 일반적인 탄도미사일의 사거리를 나타낸다. 하지만, 탄도미사일은 공격자의 의도에 따라 <표 4-2>와 같이 다양한 사거리 조절방식에 의해 적절한 사거리로 조절하여 발사 가능하다.

〈표 4-2〉 탄도미사일 사거리 조절방법

구 분	내 용
비행궤각(flight path angle) 조절	▪ 발사 후 추진체의 연소가 종료되는 시점에서 Program Turn (발사 전 사전입력)을 통한 자세각(Loft Angle) 조정
비추력(Isp) 조절	▪ 사용되는 연료 및 산화제에 따라 비추력을 조절
탄두무게(payload) 조절	▪ 탄두의 무게를 가감하여 사거리를 조절
연료차단(cut off) 시점 조절	▪ 발사 후 추진체에 설치된 연료차단 밸브로 연료 분사 차단 시점을 조정하여 사거리를 조절
연료 주입량 조절	▪ 발사 전 추진체의 연료 주입량을 조절하여 사거리를 조절

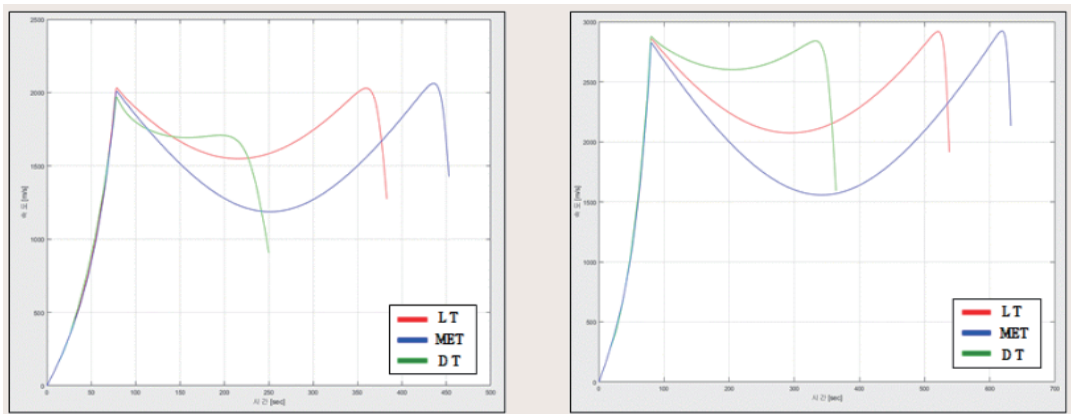
(출처: Jeffrey A. Isaacson, David R. Vaughan, "Estimation and Prediction of Ballistic Missile Trajectories.(RAND: Santa Monica, 1996), pp.27-40.)

연료차단시점 조절 방식은 탄도미사일 개발 초기에 주로 사용된 방법으로 탄도미사일의 생존성이 저하될 수 있어 실제 사용 가능성은 낮다. 즉, 사거리 1,000km급 미사일의 사거리를 줄여 500km 지점을 공격할 경우 정점고도, 속도와 가속도 성능이 낮아져 500km급 탄도미사일과 유사한 비행특성을 가지므로 비

행 중 요격될 가능성이 높아진다.

비행경로각 조절 방식은 과거에는 유도기술의 부족으로 실질적인 이용이 제한되었으나, 첨단 유도기술의 급격한 발전으로 쉽게 구현이 가능하며, 실제로 탄도미사일 사거리 조절에 사용될 가능성이 가장 높다.

연료와 탑재물(페이로더)을 살펴보면 탄도미사일은 군사작전을 위한 용도로 고체 또는 액체연료로 만들어진 로켓 추력에 의해 발사 및 가속된 뒤 유도되어 연소종료 후에는 포물선으로 자유비행하는 미사일로 생존성이 높기 때문에 WMD(핵, 화학 및 생물학 무기)에 대한 운반 수단으로 사용된다. 또한, 속도가 빠르고 장거리 비행이 가능하고 중량이 큰 탄두를 운반한다. 특히 대부분을 대기권 밖에서 극초음속(hypersonic speed)<sup>19)</sup>으로 비행하기 때문에 중간 비행단계에서의 요격이 어렵다.

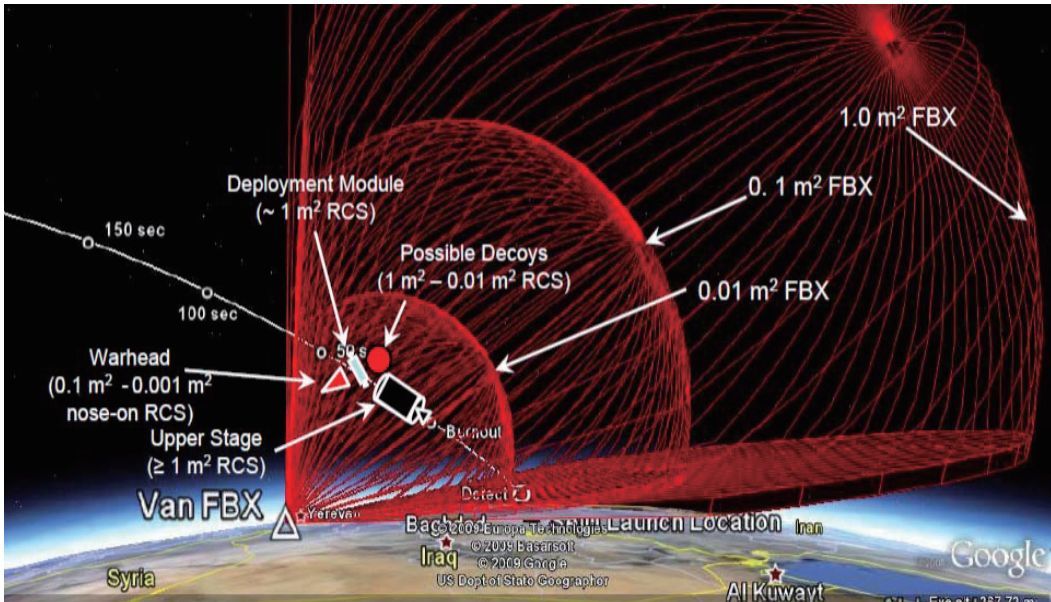


〈그림 4-2〉 비행시간에 따른 속도특성

일반적인 공중위협(ABT: Air Breathing Threat)<sup>20)</sup>에 비해 레이더 유효 피탐면적(RCS)이 상대적으로 매우 작으며, 특히 종말단계에서의 탄두의 RCS는 0.01㎡ 이하이다. 부스트와 중간단계에서는 0.1㎡ 이하이며, 종말단계에서는 0.01~0.001㎡ 정도이다.

19) 마하 5 (1.7 km/s) 이상의 속도를 극초음속으로 말한다.

20) 일반적으로 공중 미사일방어에서 공중위협은 항공기, UAV, 순항미사일 등과 같은 공기 중에서 비행하는 표적을 정의되며, 미사일은 탄도미사일을 의미한다.

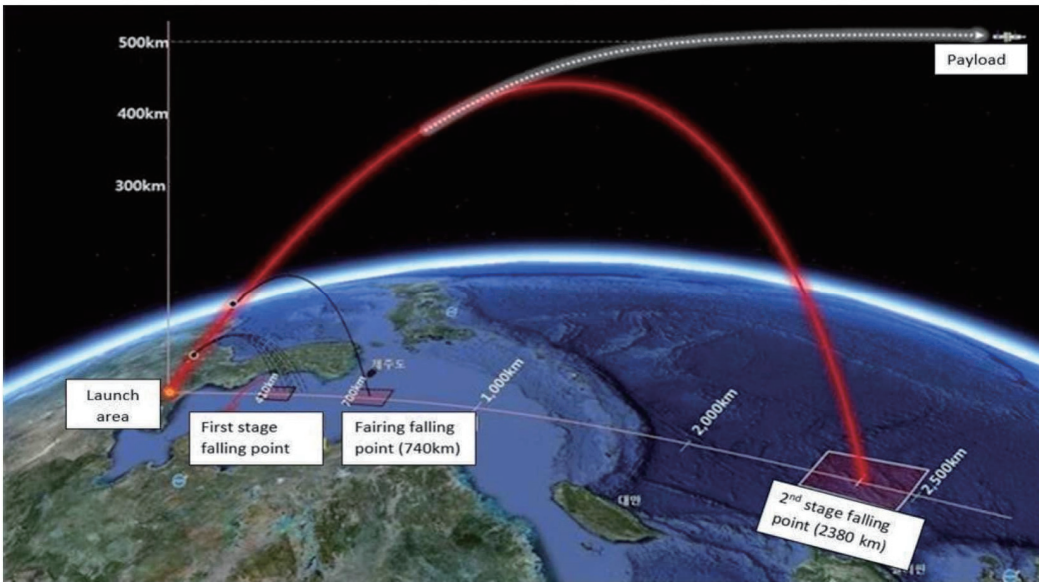


〈그림 4-3〉 비행단계에 따른 탄도미사일의 RCS 특성

(출처: D.W., European Ballistic Missile Defense Options, Center for International Security and Cooperation, SU, 2009. p.17.)

〈그림 4-4〉는 2016년 북한의 광명성 발사 당시 비행단계에 따른 낙하물의 예상 위치를 나타내고 있다. 우주 발사체는 대기권에 재진입 기술이 필요 없지만, 탄도 미사일은 대기권에 재진입을 위한 탄두 보호 기술(열차폐막 등)과 재진입 제어 기술이 필요하다.

〈그림 4-5〉는 2016년 북한이 발사한 광명성 4호 잔해로 당시 북한 광명성 4호의 페어링 회수 모습이다. 한국과 일본이 반반씩 페어링을 회수하였다. 그림의 왼쪽 부분이 한국이 회수한 것이고, 그림의 오른쪽이 일본이 회수한 것으로 발사지점에서 740km 정도의 남해 해역에 낙하하였다.



〈그림 4-4〉 북한의 광명성 발사 당시 비행 단계와 낙하물 위치

(출처: UN 보고서)



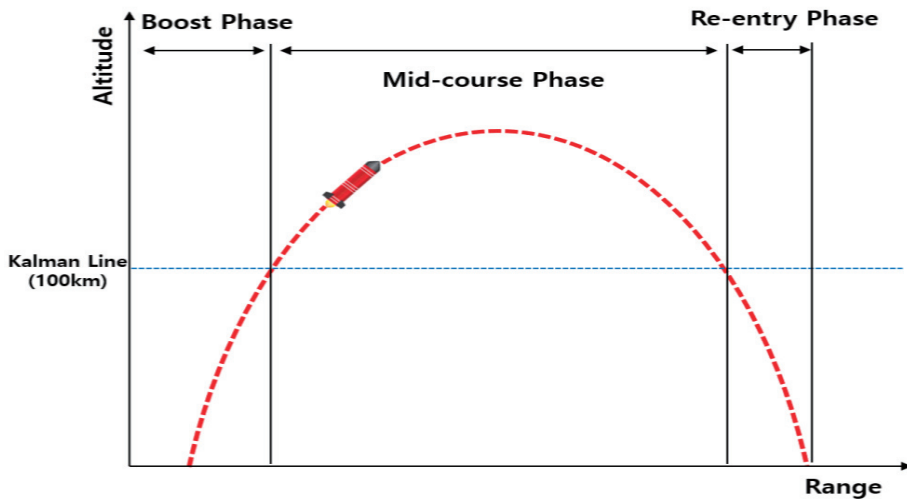
〈그림 4-5〉 북한의 광명성 4호 페어링

(출처: UN 보고서)

## 4.2 탄도미사일 방어

### 4.2.1 탄도미사일 비행 특성

탄도미사일 비행단계는 발사 직후부터 목표지점에 낙하할 때까지 <그림 4-6>과 같이 부스트 단계(Boost Phase), 중간비행 단계(Mid-course Phase)와 재진입 단계(Re-entry Phase)로 3단계로 구분할 수 있다.



〈그림 4-6〉 탄도미사일의 비행단계

(출처: 오주호, 강동수, LSTM을 이용한 탄도미사일 사거리 예측, 한국정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 2022.)

먼저 부스트 단계는 초기 연료를 소모하여 추력을 얻는 단계로 추력 및 유도장치를 통해 탄도미사일을 특정 고도, 속도 및 비행경로각을 갖는 위치로 이동시키는 단계이며, 중간비행 단계는 연소 종료 후, 대기권에 재진입할 때까지 비행을 하는 단계이다. 이 단계는 부스트 단계 이후 대기권 밖에서 비행한 후 재진입까지의 비행단계로 대기항력이 비행궤적에 거의 영향을 주지 않는 진공상태로 탄도미사일 추력에 의한 직진 비행과 중력의 잡아당기는 힘만 영향을 주어 타원궤적을 그리며 비행하게 된다.

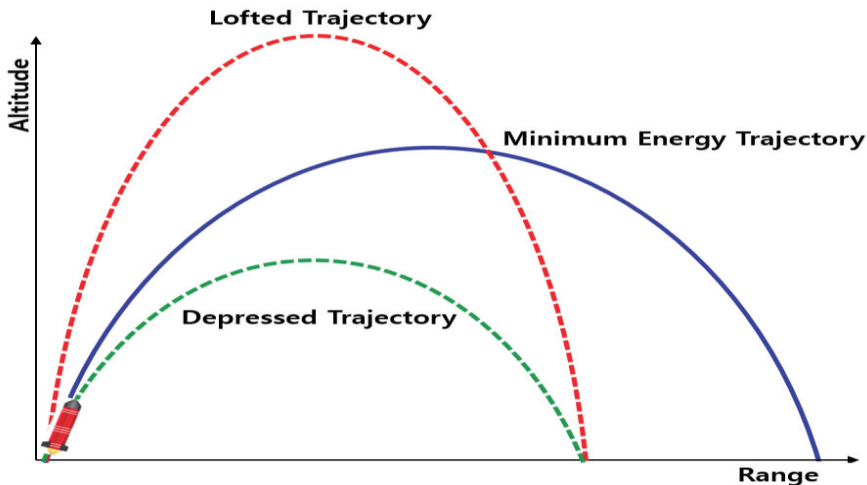
마지막 재진입 단계는 대기권 내로 재진입 후 목표지점에 낙하하여 공격이 이루어지는 단계이다. 재진입 단계는 탄도미사일이 대기권으로 재진입하여 가열 및 감

속이 일어나며 목표지점까지 이동하는 비행단계로 탄도미사일은 대기와의 마찰로 6,000 ~ 7,000℃의 열이 발생하는 가열현상 및 대기 저항으로 무게중심이 크게 흔들려 탄도미사일이 전복되거나 나선형 회전 운동이 발생하며, 또한 열에 의한 탄도미사일 변형으로 저항은 더욱 크게 발생해 예측한 낙하지점과 다른 목표지점에 낙하하게 된다.

일반적으로 탄도미사일 사거리 조절방법에는 비행경로각 조절, 연료 차단시점 조절, 연료 주입량 조절, 비추력 조절, 탄두무게 조절 방법이 있으며, 이러한 사거리 조절방법은 공격자의 목적과 의도에 따라 결정되어 진다. 비행경로각 조절 방법은 <그림 4-7>과 같이 탄도미사일 발사 전에 입력된 비행자세각 조절만으로 사거리 조절이 가능하다는 점에서 다른 방식들보다 변화를 쉽게 줄 수 있다는 장점이 있다.

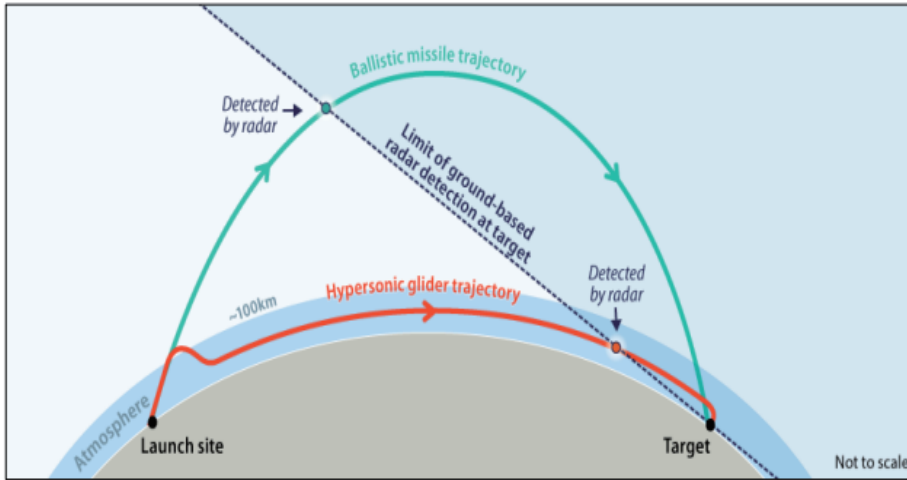
대표적인 사거리 조절 방법인 비행경로각을 조절하는 방법의 비행궤적은 최소 에너지로 최대사거리에 낙하하는 최소에너지궤적(MET: Minimum Energy Trajectory) 방식과 높은 고도를 갖는 고각 궤적(LT: Lofted Trajectory)방식, 낮은 고도를 갖는 저각 궤적(DT: Depressed Trajectory) 방식이 있다.

최근 이슈가 되고 있는 극초음속(hypersonic) 미사일은 마하 5이상의 속력으로 비행하는 미사일로 탄도미사일의 비행궤적이 일정한 포물선의 형태를 그리는 것과



<그림 4-7> 탄도미사일의 비행경로각 조절을 통한 비행궤적

(출처: 오주호, 강동수, LSTM을 이용한 탄도미사일 사거리 예측, 한국정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 2022.)



Source: CRS image based on an image in “Gliding missiles that fly faster than Mach 5 are coming,” *The Economist*, April 6, 2019, <https://www.economist.com/science-and-technology/2019/04/06/gliding-missiles-that-fly-faster-than-mach-5-are-coming>.

〈그림 4-8〉 탄도미사일과 극초음속 미사일 비행궤적 비교

대조적으로 〈그림 4-8〉처럼 저고도 자유 비행이 가능하여 요격을 어렵게 하고 있다. 극초음속 미사일의 종류로는 글라이더 형태로 비행하는 활공체에 탄두를 탑재하는 HGV(Hypersonic Glide Vehicles)와 스크림제트 엔진을 이용하여 고속 비행이 가능하여 기습 효과를 낼 수 있는 HCV(Hypersonic Cruise Vehicles)로 구분된다.

#### 4.2.2 탄도미사일 방어 개념<sup>21)</sup>

탄도미사일 방어는 탄도미사일의 비행 특성을 고려하여 비행단계별로 방어 개념이 적용되는 다층방어의 형태이다. 최근 사이버전에서 자주 언급되는 발사전 왼편(Left of Launch) 개념이 있지만 선제타격 외에 실질적으로 발사전에 발사를 막을 수 있는 구체적인 방법론은 공개되고 있지 않다. 일반적인 미국 미사일 방어국(Missile Defense Agency)의 탄도미사일 방어 시스템도 비행궤적에 따라 비행 단계별로 〈그림 4-9〉와 같이 구축되어 있다.

그리고, 최근에는 비행궤적이 자유로운 극초음속 미사일 방어를 위한 시스템으로

21) 강동수 외, KAMD 보강을 위한 해상탄도탄요격유도탄의 효용성에 관한 연구, 국방부, 2017. 보고서의 일반적인 내용에 극초음속 부분을 추가하여 재정리하였다.



〈그림 4-9〉 미사일 방어국의 탄도미사일 방어 시스템 아키텍처

(출처: 미 국방부 홈페이지 소개 자료)

우주 자산을 이용한 HBTSS(Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor) System이 구축될 예정이다.

일반적인 비행궤적에 따른 방어 개념은 다음과 같다. 먼저, 부스트 단계 방어는 탄도미사일이 발사된 직후부터 추력이 종료(burn out)되기 전까지의 비행단계에서 요격하는 개념이다. 부스터는 탄두에 비해서 구조적으로 취약하고, 기만장치나 자탄이 방출되기 전으로 파괴해야 할 표적의 수가 상대적으로 적다. 특히 핵탄두 탑재 탄도미사일의 경우 기폭되기 이전의 단계이기 때문에 부스트 단계에서 방어에 성공한다면 탄두에 대한 피해를 예방할 수 있다.

부스트 단계에서 사용될 수 있는 주요 센서체계로는 DSP(Defense Support Program), STSS(Space Tracking and Surveillance System) 등의 위성기반 센서체계와 이지스함의 SPY-1 레이더 및 AN/TPY-2 등이 있다. 한편 부스트 단계의 요격을 위해 개발 중이었던 운동에너지 요격체(KEI: Kinetic Energy Interceptor)와 항공기탑재레이더(ABL: Airborne Laser) 등은 여러 논란으로 취소되었다.

다음으로 중간비행 단계 방어는 부스트단계 종료 후부터 대기권에<sup>22)</sup> 재진입하기 전까지 비행하는 탄도미사일을 요격하는 개념이다.

중간단계 방어에서는 DSP(Defense Support Program), STSS(Space Tracking and Surveillance System), 이지스함의 SPY-1 레이더 등 센서체계를 이용하여 탄도미사일을 탐지하고 추적한다. 디코이(decoy), 재머(jammer) 등의 다른 기만장치로부터 탄도미사일을 정확히 식별하고 실시간으로 표적정보를 추적한다. 최근 극초음속 미사일의 위협이 증가함에 따라 초음속 미사일을 방어를 위한 HBTSS도 개발되고 있다. 주요 요격체계로는 이지스함의 SM-3 미사일과 개발중인 지상기반 중간단계 미사일 시스템의 하나인 EKV(Exoatmospheric Kill Vehicle) 등이 있다.

재진입 단계인 종말단계에서는 외기권을 비행하던 탄도미사일이 대기권에 재진입한 시점으로부터 목표점에 탄착할 때까지의 단계이다. 종말단계를 비행하는 탄도미사일의 속도는 중력과 항력의 영향을 복합적으로 받기 때문에 속도의 변화가 급격하게 변하게 되며, 대기 저항에 의해 고열이 발생하게 된다. 또한, 탄두가 전복되거나 불규칙한 나선형 운동이 발생하는 경우도 있다. 이와 같은 탄도미사일의 불규칙한 기동 특성 때문에 종말단계의 요격은 어려워진다.

종말단계에서는 부스트, 상승단계 및 중간단계에서의 정밀 비행정보를 바탕으로 지상에서는 고도 150km까지 요격 가능한 THAAD(Terminal High Altitude Area Defense)와 고도 15~35km까지 요격 가능한 PAC-3 체계<sup>23)</sup>에 의해 표적이 획득되고 요격이 이루어진다. 해상에서는 종말단계 요격체계로 SM-6가 운용되고 있다.

22) 대기권과 외기권의 구분은 대기의 저항이 거의 없는 80~100km의 고도를 의미하고 있으나, 일반적으로 고도 100km의 카르만 선(Karman Line)을 기준으로 하고 있다.

23) PAC-3 MSE(Missile Segment Enhancement)의 요격 가능 고도는 35km로 알려져 있다.

## 5. 결 론

2021년 우주 발사체는 8개국에서 총 145회 발사되었으며, 1,730개의 페이로드가 배치되었고 매 발사마다 평균 11.9개의 페이로드가 날아갔다. 카르만 라인까지 도달한 우주 여행자도 22명으로 기록되었다. 이렇게 우주 공간을 활용하고자 하는 기대가 커져가고 있다. 우리나라도 우주개발계획을 세우고 자체 우주 발사체 개발을 추진하고 있으며, 달탐사선 발사 등 다양한 활동을 하고 있다.

북한은 수시로 탄도미사일 발사와 극초음속 미사일 시험발사를 진행하고, 정찰위성 개발을 위한 시험을 주장하고 있다. 북한은 이미 2012년에 자체 인공위성인 광명성 3호를 은하 3호 발사체에 탑재하여 궤도에 정상 진입시켰으며, 2016년에는 광명성 4호를 발사하였다. 이후 위성발사는 하지 않고 있지만, 김정은 체제에서 국가우주개발국을 설치하여 우주개발을 진행하고 우주발사장과 위성관제종합지휘소를 설치하여 운영하고 있다.

우주 발사체와 탄도미사일을 비교해 보면 발사목표는 우주 발사체는 우주선이나 인공위성을 목적인 궤도에 보내는 것이 목표이지만, 탄도미사일은 발사 이후 정점 고도에 다다른 이후 대기권으로 재진입하여 핵이나 폭탄을 수송하여 목표물을 타격하여 무력화시키는 것이다. 일반적으로 우주 발사체는 수직으로 발사되고, 탄도미사일은 수직으로 발사되나 사거리를 조절하기 위해 일정각도로 누워서 날아간다. 우주 발사체는 환경 및 성능 증진을 위해 액체추진제를 사용하는 추세이지만, 대륙간탄도미사일은 준비시간이 상대적으로 짧은 고체추진제를 선호한다. 이러한 운영측면의 차이와 함께 재진입 제어 기술 등 기술 측면에서도 차이가 있다.

하지만, 우주 발사체와 탄도미사일을 형상으로 구분하는 것이 어려운 것처럼 유사한 점도 많다. 우주 발사체에서 사용되어지는 기술과 구성품은 탄도미사일에서 재활용 가능하기 때문에 북한의 우주 발사체 개발 주장을 곧이곧대로 믿을 수는 없다. 그래서 공개 자료가 제한되지만 북한의 우주개발 기술현황 조사와 추적을 통해 북한의 우주개발 능력을 지속적으로 추정하는 것이 필요하다.

## 참고 문헌

1. 강동수 외, KAMD 보강을 위한 해상탄도탄의 효용성 연구, 국방부, 2017.
2. 강동수, 미래 국가안보를 위한 AI-기반 무기체계 개발, 국가안보문제연구소, 2021.
3. 강동수, 무기체계 지능화, 전쟁 패러다임 변화에 준비 필요, 국방일보, 2020.04.01.
4. 오주호, 강동수, 북한 탄도미사일 비행 궤적 분석, 한국국방경영분석학회 학술대회, 2021.07.
5. 오주호, 강동수, LSTM을 이용한 탄도미사일 사거리 예측, 컴퓨팅의 실제논문지 제28권 제8호, pp.405-412, 한국정보과학회, 2022.
6. U. Singh, "Dynamic classification of ballistic missiles using neural networks and hidden Markov models," Applied Soft Computing, Vol. 19, pp.280-289, 2014.
7. E.Gaiduchenko, A.Gritsyk, "Hypersonic Vehicle Trajectory Classification Using Convolutional Neural Network," 2019 International Conference on Engineering and Telecommunication, 2019.
8. W.Tang, L.Yu, "Radar Target Recognition of Ballistic Missile in Complex Scene," 2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP), 2019.
9. S.Wang, L.Wang, "Projectile Impact Point Prediction Based on Genetic Algorithm BP Neural Network," Journal of Physics: Conference Series, 2019.
10. M.Carpenter, A.Gritsyk, "Statistical Learning for Trajectory Prediction," Scitech 2019 Forum, 2019.



## 유의사항

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

---

군사과학정책연구

제15권

2022년 12월 29일 인쇄

2022년 12월 31일 발행

저 자 : 황현호 등 3명

발행처 : 국방대학교 국가안전보장문제연구소

TEL. (041) 831-6414

FAX. (041) 831-0000

인쇄 : 청맥기획 (042) 487-2589

---

ISSN 1976-5967

