

# 기계학습을 활용한 항공표적 긴급표적처리 발전방안 연구

강정현<sup>1)</sup> · 임동순<sup>\*,1)</sup> · 최봉완<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한남대학교 산업공학과

## A Study on Methodology for Air Target Dynamic Targeting Applying Machine Learning

Junghyun Kang<sup>1)</sup> · Dongsoon Yim<sup>\*,1)</sup> · Bongwan Choi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Industrial Engineering, Hannam University, Korea

(Received 29 March 2019 / Revised 7 May 2019 / Accepted 7 June 2019)

### ABSTRACT

In order to prepare for the future warfare environment, which requires a faster operational tempo, it is necessary to utilize the fourth industrial revolution technology in the field of military operations. This study propose a methodology, ‘machine learning based dynamic targeting’, which can contribute to reduce required man-hour for dynamic targeting. Specifically, a decision tree algorithm is considered to apply to dynamic targeting process. The algorithm learns target prioritization patterns from JIPTL(Joint Integrated Prioritized Target List) which is the result of the deliberate targeting, and then learned algorithm rapidly(almost real-time) determines priorities for new targets that occur during ATO(Air Tasking Order) execution. An experiment is performed with artificially generated data to demonstrate the applicability of the methodology.

Key Words : Machine Learning(기계학습), Dynamic Targeting(긴급표적처리), Target Priority(표적 우선순위), Decision Tree(의사결정 나무)

### 1. 서론

최근 사회 모든 분야에 있어 인공지능, 빅데이터, 기계학습, 딥러닝, 사물인터넷, 로봇공학, 클라우드 컴퓨팅 등으로 대표되는 4차 산업혁명 기술을 활용한 미래 경쟁력 확보가 이슈가 되고 있다. 군사분야에서

도 역시 미래전 양상 및 환경에 요구되는 능력을 확보, 발전시키기 위한 4차 산업혁명 기술의 중요성을 인지하고 이에 대한 효과적인 활용방안을 활발히 모색하고 있다.

미래전 양상에 대해서는 다양한 분석이 존재하나 전문가들 의견의 공통적인 특징은 센서와 네트워크가 고도로 발달되어 모든 전장 정보가 빠르게 수집, 유통, 통합, 처리되는 네트워크 중심작전환경 하에서 로봇공학 및 인공지능 기술을 바탕으로 한 무인무기체

\* Corresponding author, E-mail: dsyim@hnu.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

계가 모든 전장영역에서 활발하게 사용될 것이라는 점<sup>6)</sup>이다. 이런 특징들은 미래전을 현재보다 더욱 복잡하면서도 훨씬 빠른 템포로 진행되게 할 것이다. 특히 공군의 항공우주작전 표적들의 변화를 예상해 보면 고정표적보다는 이동표적들이 폭발적으로 증가되고, 이동표적들의 경우 시한성표적(time-sensitive target)의 비율이 더욱 증가할 것으로 유추할 수 있다.

본 연구는 이와 같은 관점에서 공군 항공우주작전 수행체계 발전을 위한 4차 산업혁명 기술 적용방안의 일환으로 긴급표적처리(dynamic targeting) 소요시간을 획기적으로 감소시킬 수 있는 기계학습 알고리즘을 활용한 긴급표적처리 모형을 제시하고, 그 적용가능성을 검증하고자 한다. 군사보안 문제 최소화를 위해 연구에 사용된 모든 군사작전 교리 및 교범은 공개된 미군 합동교리·교범을 사용하였지만, 한국 공군의 항공우주작전은 미군과 긴밀한 연합작전체계하에서 수행되기 때문에 제시된 연구내용 적용 시 문제점이 없을 것으로 판단된다.

## 2. 합동표적처리와 기계학습 기반 긴급표적처리

### 2.1 ATO 임무수행주기와 합동표적처리주기

공군 항공우주작전 수행의 핵심은 항공임무명령서(ATO: Air Tasking Order) 생산-배포-시행-평가를 성공적으로 반복하는 것이며, 본 연구에서 발전시키고자하는 표적처리 또한 이 과정의 일부이다. ATO란 항공우주작전의 세부적인 임무와 과업을 부여하는 방법(론)으로, 지휘통제기구가 소타, 전력, 부대들을 특정 표적 및 임무에 분배하는 특수한 형태의 작전명령을 뜻한다<sup>4)</sup>. ATO는 96시간 주기를 갖는 6단계의 ATO 임무수행주기를 중첩 수행하여 매 24시간 단위로 작성, 시행된다.

ATO 임무수행주기의 전반적인 흐름은 Fig. 1<sup>5)</sup>과 같다. 1단계 ‘목표, 효과, 지침’은 작차작전 ATO 작성 지침인 항공작전지침서(AOD: Air Operations Directive)를 작성하는 단계이고, 2단계 ‘표적 개발’은 AOD를 바탕으로 해당 일자의 작전적 요구를 반영하여 우선순위화시킨 표적목록인 합동통합우선순위표적목록(JIPTL: Joint Integrated Prioritized Target List)을 작성하는 단계이다. 이후 3단계 ‘무기추천 및 전력할당’, 4단계 ‘ATO 생산 및 배포’, 5단계 ‘시행계획수립 및 전력시행’, 6단계 ‘평가’를 수행하여 주기가 완료된다. 이 과정 중 표적처리는 2단계 및 5단계를 관련된다<sup>15)</sup>.

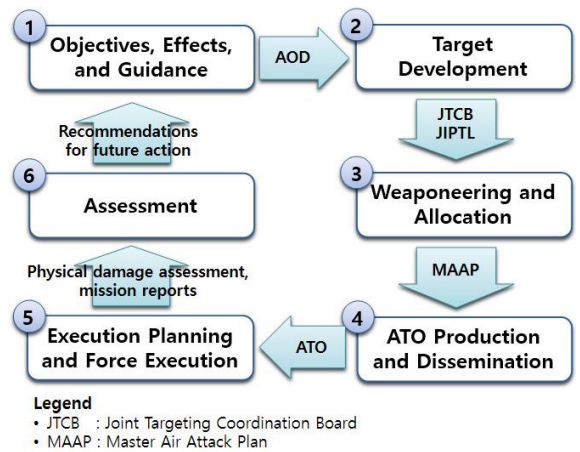


Fig. 1. Air tasking cycle

ATO 임무수행주기 수행은 업무담당 전문요원들이 수많은 고려요소를 반영하고 관련기관의 실무자들과 협조회의를 반복하면서 각 단계에 요구되는 산출물을 작성해 내는 과정이다. 그러므로 자동화된 정보체계의 도움을 받는다 하더라도 많은 시간이 소요되며, 특히 매 24시간마다 ATO가 생산되어야하기 때문에 동시에 5개의 ATO 임무수행주기가 24시간 시차를 두고 중첩 수행되어야 한다. 여기서 발생하는 맨 아워(man-hour)는 Table 1<sup>10)</sup>에서 보는바와 같이 상당한 수준이며, 실시간에 가까운 빠른 작전템포를 요구하는 미래 항공우주작전에서는 큰 장애물로 작용할 것이다.

Table 1. Multiple ATO cycle man-hour

Elapsed Time (hour)	Major task	Man-hours	
		Avg.	Max.
1 ~ 10	Publish AOD update	58	61
11 ~ 20	TNL development complete	68	74
21 ~ 30	Merge TNLs complete	55	61
31 ~ 40	JFACC strategy update meeting	64	74
41 ~ 50	Decision brief and MAAP shows	55	74
51 ~ 60	Publish ATO	58	64
61 ~ 70		64	74

ATO 임무수행주기와 연계되어 수행되는 합동 표적처리(joint targeting)는 작전적 요구와 능력을 고려하여 그에 대응하는 표적을 우선순위화하고 선정하는 절차를 의미한다<sup>[5]</sup>. 합동 표적처리는 Fig. 2<sup>[5]</sup>의 6단계 합동 표적처리주기(joint targeting cycle)에 의해 수행되며, 특히 2단계인 ‘표적개발 및 우선순위화’ 단계에서는 ATO 임무수행주기 2단계와 연계, 작전적 요구에 따라 표적을 우선순위화하여 선정(JIPTL 작성)하는데, 이처럼 주기 내에서 상대적으로 충분한 시간을 갖고 체계적인 절차를 통해 신중하게 표적을 반영시키는 과정을 기계표적처리(Deliberate Targeting)라 한다<sup>[5]</sup>.

이와 대비되는 개념인 긴급표적처리(Dynamic Targeting)는 합동 표적처리주기 및 ATO 임무수행주기의 5단계인 ‘세부계획수립 및 전력시행’ 단계에서 ATO 시행 중 새롭게 식별되는 표적들에 대해 작전지침을 기준으로 우선순위를 판단하여 작전에 반영하는 과정을 의미한다. 이 과정은 Fig. 3<sup>[5]</sup>과 같이 새롭게 식별된 핵심표적(HPT: High-Payoff Target), 고가치표적(HVT: High-Value Target), 시한성표적(TST: Time-Sensitive Target) 등의 우선순위를 평가하고 이를 기존 JIPTL에 반영된 표적들과 비교하여 종합 결과를 현행 또는 작성 중인 ATO에 반영하는 과정으로 진행된다. 상대적으로 가용시간이 부족한 긴급표적처리 또한 사람이 수행하므로 맨 아위가 야기하는 제한사항은 미래전 환경으로 갈수록 더욱 커질 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 ATO 임무수행 및 합동 표적처리주기 2단계와 5단계에 기계학습 알고리즘을 적용하여 긴급표적처리 수행 시 발생하는 맨 아위를 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

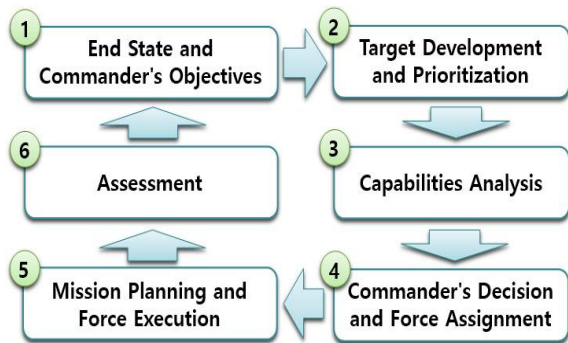
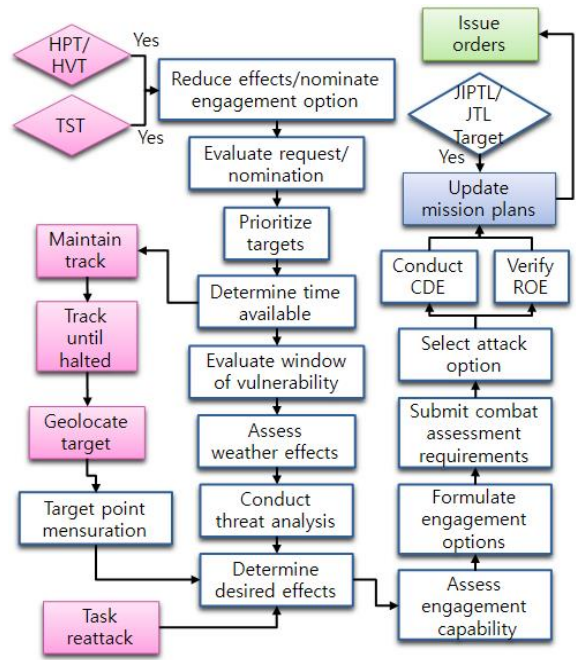


Fig. 2. Joint targeting cycle



Legend  
 • CDE : collateral damage estimation • JTL : joint target list  
 • HPT : high-payoff target • ROE : rules of engagement  
 • HVT : high-value target

Fig. 3. Target process in phase 5

2.2 기계학습 적용의 틀 및 관련연구

기계학습을 적용하여 표적처리를 발전시키기 위해서는 알고리즘이 ‘현재의 작전적 요구에 맞는 표적 우선순위 결정패턴을 얼마나 잘 학습하여 효과적으로 예측(또는 분류) 가능하냐’가 관건이다. 즉 전문요원들이 수행하는 기계표적처리의 패턴을 알고리즘이 학습하여 동일 기간의 긴급표적처리 시 적용하는 것이 필요하다. 기계표적처리 절차수행의 핵심 산물인 JIPTL은 모든 표적에 대한 우선순위 평가 결과(패턴)와 표적정보를 포함한 목록이며, 그 작성과정에서 합동표적협조위원회(JTCB: Joint Targeting Coordination Board)를 통해 표적 결정권자가 승인한 결과물이다. 또한 기계학습이 용이한 구조화된 형태를 가지고 있기 때문에 표적 우선순위 결정패턴을 학습하기 적합한 데이터라 판단된다. 그러므로 기계학습 알고리즘은 매일 작성되는 JIPTL로부터 표적 우선순위 결정패턴을 학습하고, ATO 시행 간 표적이 새롭게 식별될 경우, 알고리즘이 현행 작전지침을 기준으로 표적 우선순위를 빠르게 예측(또는 분류)하여 즉각적인 조치 수행을 지원할 수 있다.

위에 제시된 문제를 정리해 보면, 이는 특정 목록에 대한 우선순위를 결정하는 문제에 기계학습 알고리즘을 적용하는 것이라 볼 수 있다. 관련된 연구를 살펴보면, 군사분야에서는 아키텍처와 TOC(Theory of Constraints)를 적용하여 ATO 임무수행주기 운영을 위해 투입되는 맨 아워를 최적화시키고자 한 연구<sup>[10]</sup>나 긴급표적처리시 선정된 표적과 무기 간 최적할당 문제를 자동화된 휴리스틱 최적화 방법을 적용하여 풀고자 한 연구<sup>[7]</sup> 등이 있지만 본 연구처럼 표적 우선순위 결정 문제를 다루는 연구는 찾아볼 수 없었다. 반면, 정보 검색 (Information Retrieval) 분야에서의 이메일 중요성에 따른 우선순위 예측, 문서 조회 성능 향상을 위한 우선순위 결정 방법 등이 본 연구의 표적 우선순위 결정 문제에 관련되어 있다. Aberdeen 등<sup>[8]</sup>은 선형 로지스틱 회귀 모델을 이용한 패턴 학습으로 이메일의 중요성 (우선순위)을 예측하였다. Liu<sup>[13]</sup>는 문서 우선순위 결정을 위한 단일(Pointwise), 쌍대(Pairwise), 일률(Listwise) 방법 중 일률 방법이 가장 우수함을 보였다고 보고하였다. 일률 기반의 기계학습 분야 연구로는 진화적 알고리즘을 적용한 연구사례<sup>[11]</sup>, 콘텐츠 기반 이미지 조회 성능향상을 위해 이미지 관련도를 의사결정나무 모델을 통해 학습한 연구사례<sup>[12]</sup> 등이 있다. 그 외 대규모 데이터베이스나 웹에 존재하는 문서, 이메일, 이미지 등의 리스트들에 대한 중요도를 기계학습 알고리즘을 적용하여 예측(또는 분류)한 다수 연구들이 존재한다. 따라서 본 연구에서 제시하는 기계학습 적용의 틀은 비록 군사분야 관련연구는 찾아볼 수 없지만 IR분야에서는 충분히 검증된 것이기에 군사작전분야의 동일특성 문제에 대한 적용도 타당한 것으로 판단된다.

### 2.3 기계학습 기반 긴급표적처리 모형

위 내용을 바탕으로 기계학습 기반 긴급표적처리 모형을 구축해 보면 Fig. 4<sup>[9]</sup>와 같다. 모형은 현재 시행하고 있는 ATO의 JIPTL과 그 하루 전·후의 JIPTL을 통합하고, 이 중 학습을 위한 데이터(training dataset)와 성능검증을 위한 데이터(test dataset)를 분할 구성하고, 패턴 학습 및 모형 성능 평가를 실시한다. 학습이 완료된 모형은 성능평가 결과를 바탕으로 JTCB에서 권한자의 승인을 받고, ATO 시행 중 새로 식별된 표적들에 대해 즉시 우선순위 예측(또는 분류)결과를 도출한다. 이후 도출된 우선순위에 따라 즉시 ATO 반영 및 공격이 이루어지거나, 합동표적목록(Joint Target List)에 포함시켜 향후 작전에 사용하게 된다<sup>[9]</sup>.

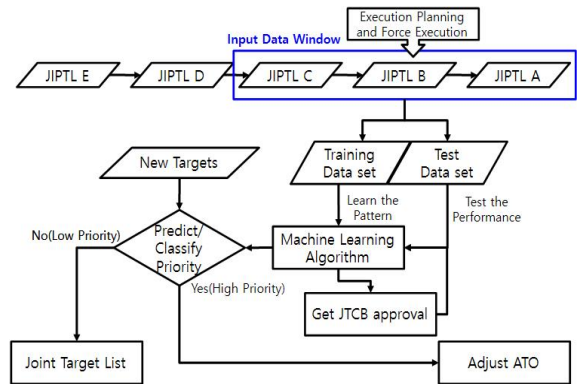


Fig. 4. Machine learning based dynamic targeting

## 3. 기계학습 기반 긴급표적처리 적용 실험

### 3.1 실험 절차

제시된 기계학습 기반 긴급표적처리 모형의 적용 가능 여부를 검증하기 위한 실험은 다음의 두 가지를 필요로 한다. 첫째는 실험용 데이터셋이다. 실험을 위해서는 작전 시행 간 작성된 특정 일자의 JIPTL이 필요하며, 이 데이터는 독립변수로 사용될 각 표적의 정보와 종속변수로 사용될 해당 표적의 우선순위가 포함되어야 한다. 실험 데이터는 과거의 실제 전쟁 시 사용되었던 JIPTL을 사용하는 것이 최선이겠지만, 이런 데이터는 공개하지 않으므로, 공개된 자료를 기초로 실험용 데이터셋을 최대한 실제와 가깝게 재구성하는 작업이 요구된다. 본 연구에서는 『Gulf War Air Power Survey』 등<sup>[1-3]</sup> 미군의 걸프전 연구분석 자료들을 바탕으로 필요한 데이터셋을 생성하였다.

실험에 요구되는 두 번째는 표적 우선순위 결정 패턴 학습에 적합한 기계학습 알고리즘을 선정하는 것이다. 앞서 서술한 것처럼 표적 우선순위 결정 문제는 언고자 하는 결과(출력변수: 새로운 표적의 우선순위)가 있고, 학습을 위한 데이터가 출력변수의 값(기계학습 표적처리로 결정된 표적 우선순위)을 포함하고 있을 경우 ‘입력변수들의 값 변화에 따라 출력변수의 값이 어떻게 변화하는지’에 대해 알고리즘을 학습시켜 새로운 데이터의 입력변수를 바탕으로 예측 및 분류 시 더 좋은 성능이 나오도록 조정하는 형태를 가지고 있다. 이는 기계학습의 분류 중 지도 학습(supervised learning)에 적합한 형태로, 지도 학습 알고리즘 중 하나를 선택하여 적용하는 것이 타당하다<sup>[17]</sup>.

다양한 지도 학습 알고리즘 중 표적 우선순위 결정 패턴 학습에 적합한 알고리즘으로 의사결정 나무(decision tree) 모형을 선택하였으며, 이는 다음과 같은 의사결정 나무 모형의 특성<sup>[5]</sup>이 현재의 군 조직 문화 및 작전수행절차를 고려할 때 중요한 장점이라고 판단하였기 때문이다.

- 이해하기 쉽고, 결과를 해석하기에 용이하다.
- 수치 데이터와 범주형 데이터를 처리할 수 있다.
- 데이터 준비 과정이 단순하다.
- 결과에 대한 설명이 용이한 모델을 사용한다.
- 인간의 의사결정 접근 방법과 유사하다.

표적 우선순위 결정결과를 JTCC를 통해 반드시 권한자의 승인을 얻어야만 하는 현재의 작전수행체계에서는 모형의 분류 성능이 아무리 우수하다 하더라도 프로세스가 블랙박스여서 권한자가 그 과정을 이해하지 못한다면 모형 적용은 불가능하다. 따라서 의사결정 나무 모형이 가지는 ‘수행한 프로세스가 인간 의사결정의 과정과 흡사하며, 간단한 설명과 도식을 통하여

사람이 해석하고 이해할 수 있다’는 특성은 군 작전 적용요건에 결정적으로 부합하는 핵심요소인 것이다.

위의 두 가지 사항을 중심으로 하여 도출한 실험 흐름도는 Fig. 5와 같다.

### 3.2 실험 데이터 생성 및 전처리

전술한 것처럼 실험을 위해 생성해야 하는 데이터셋은 일자별 JIPTL이다. Table 2는 일반적인 JIPTL이 포함하고 있는 데이터 속성(Attribute)들에 대한 예시이며, 패턴 학습 시 이 속성들 중 ‘Priority’는 종속변수, 나머지는 독립변수로 사용하여야 한다.

종속변수인 ‘Priority’는 해당 일자의 표적의 중요성에 따라 작성되는 범주형 변수로 실험에 적합한 형태이지만 독립변수의 경우 위의 모든 속성이 사용될 수 있는 것은 아니다. 일반적인 경우라면 데이터셋의 모든 변수를 가지고 전처리나 학습과정에서 변수 선택 절차를 수행하는 것이 바람직하지만, 본 실험의 경우 사전에 적합한 변수를 선택한 후 생성하는 것이 효율적이므로 미 합동교리의 내용과 항공우주작전 및 표적업무 분야 전문가의 의견을 근거로 변수를 선택하였다. 위 속성 중 ‘Objective’(관련된 작전목표)는 해당 표적과 연계된 작전목표를 뜻하며, 이는 표적관리를 위한 표적체계(Target System)<sup>[5]</sup> 내에서 하위 분류인 ‘Target’(세부적인 표적 종류, 명칭)과 계층적 관계를 가지고 있으므로 과도한 상관관계를 형성하기 때문에 제외하는 것이 적절하며, ‘JDPI’(공격시 탄착점), ‘Desired Effect’(공격 요망효과), ‘Field Elevation’(표적

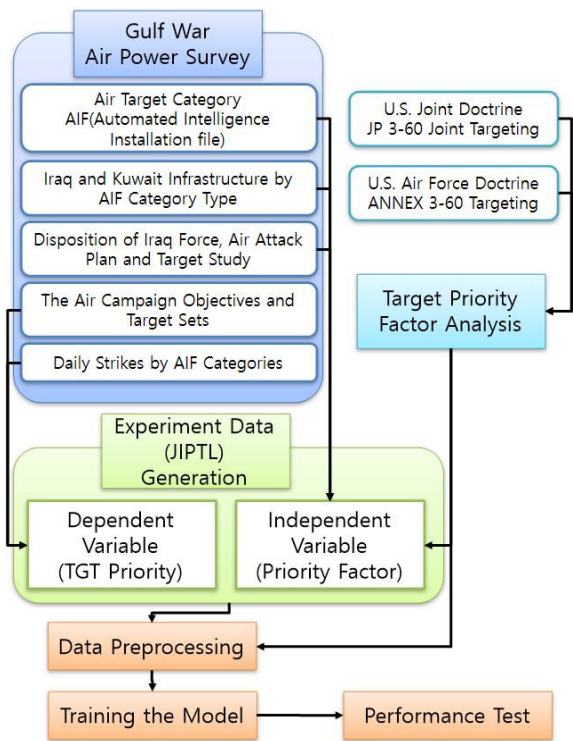


Fig. 5. Experiment flow chart

Table 2. Data attributes of JIPTL

Attribute	Example
Priority	B
Objective	Interdiction of Enemy Ground Forces
Target	POL, 3 <sup>rd</sup> Division
JDPI	A, B, C POL Valve
Desired Effect	90 % Destruction fo the installation
Component	GCC
Reason of Nomination	Remove a enemy capability that refuel mobile reserve
Coordinate	N 40 35 32.000 E 126 45 40.000
Field Elev.	35 ft

표고)의 경우 무장할당 및 세부 임무계획을 할 때는 중요한 고려요소지만 표적의 우선순위 결정요소로는 부적합하기 때문에 제외하는 것이 바람직하다. 또한 ‘Component’(추천 구성군)는 표적공격을 추천한 구성군을 의미하고, 이는 표적 우선순위 결정요인은 아니라 판단되며, ‘Reason of Nomination’(표적추천 사유)은 각 구성군에서 해당 표적을 추천한 사유로 주된 내용이 각 구성군의 입장표명이기 때문에 표적추천 실무자의 판단을 돕기 위한 참고자료이지 중요정보를 포함한다고 보기 어렵다. 반면 ‘Coordinate’(표적 좌표)는 작전 목표에 따른 표적 우선순위를 결정하는 주요 요소로 판단하였다. 예를 들어 적의 전방지역에 위치한 SA-2 지대공 미사일 기지와 적의 후방지역에 위치한 동종 표적이 있다고 가정하자. 작전목표와 지침이 전방지역의 국지적인 공중우세를 달성하는 것으로 설정될 경우, 전자의 표적은 우선순위가 높을 것이고 후자의 경우 상대적으로 낮은 우선순위를 가질 것이다. 표적 위치가 우선순위 결정에 영향을 미치는 이러한 현상은 지상전력 등 다른 표적범주에 대해서도 동일하게 발생될 수 있다. 따라서 JIPTL에서 독립변수로 적합한 속성은 ‘Target’(세부적인 표적 종류, 명칭)과 ‘Coordinate’(표적 좌표)이며, 이 두 속성이 적의 전쟁 수행체계에서 각 표적이 담당하는 기능과 해당 표적이 아군의 작전목표 달성과 어떻게 연계되는지에 대한 핵심정보를 포함한다고 판단된다. 결과적으로 실험용 데이터는 걸프전 분석자료를 바탕으로 독립변수로서 ‘Target’, ‘Coordinate’, 종속변수로서 ‘Priority’로 구성된 데이터셋으로 생성하였다.

세부적으로는 실제 걸프전에서 사용된 5,502개 표적을 대상으로 항공 표적체계(target system)의 범주(Target by category Automated Intelligence Installation file)와 범주별 비율<sup>11)</sup>을 그대로 적용하여 Table 3과 같이 정리하였으며, 이중 분석이 불가능한 ‘Miscellaneous/Other’ 974개 표적을 제외한 걸프전 실제 표적 개수 4,528개를 1/2 수준으로 반영하여 2,469개의 표적을 포함한 실험용 데이터셋을 생성하였다. 표적 범주는 계층적 표적체계에 따라 ‘Category 0/A/B’가 있으며, ‘Radar collocated with SAM sites’, ‘Surface to Air Missile Sites/Complexes’, ‘Tactical Surface to Air Missile Sites/Installations’의 일부 표적 범주에 대해서는 무기체계의 세부 기종을 표시한 ‘Category C’ 수준까지 세분화하였다. 이들은 실험용 데이터의 독립변수 중 표적의 세부 종류를 의미하는 속성 ‘Target’ 생성에 사용되었다.

Table 3. Target category, count, ratio of the gulf war

Cat 0	Category A	Category B	Count	Ratio
OCA	Airfields	Airbases	31	0.56 %
OCA	Airfields	Reserve Fields	29	0.53 %
OCA	Airfields	Helicopter Bases	68	1.24 %
OCA	Non Communications Electronic Installations	Radar Installations	200	3.64 %
OCA	Non Communications Electronic Installations	Radar collocated with SAM sites	200	3.64 %
OCA	Non Communications Electronic Installations	ATC/Nav aids	100	1.82 %
OCA	Non Communications Electronic Installations	Meteorological radars	63	1.15 %
OCA	Air Logistics, general	Air Depots	14	0.25 %
OCA	Air Ammo Depots	Maintenance and repair bases	0	0.00 %
OCA	Air Ammo Depots	Aircraft and Components Production and Assembly	0	0.00 %
	Nuclear, Biological, Chemical (NBC)	Atomic Energy Feed and Moderator Materials Production	0	0.00 %
	Nuclear, Biological, Chemical (NBC)	Chemical and Biological Production and Storage	31	0.56 %
	Nuclear, Biological, Chemical (NBC)	Atomic Energy-Associated Facilities Production and Storage	0	0.00 %
∴	∴	∴	∴	∴
	Military Industrial Base	Covered Storage Facilities, General	4	0.07 %
	Military Industrial Base	Material (Chiefly Military)	38	0.69 %
	Military Industrial Base	Industrial Production Centers	0	0.00 %
	Military Industrial Base	Defense Logistics Agencies	0	0.00 %
	Miscellaneous/Other	All installation not in above list	974	17.70 %
Total			5502	100.00 %

독립변수 중 표적 위치 좌표인 속성 ‘Coordinate’는 작전계획 및 시행 기록에 포함된 주요표적의 대략적인 위치 현황에 대한 Fig. 6<sup>[13]</sup>과 같은 형식의 걸프전 분석자료를 기반으로 작성되었으며, 세부 좌표는 표적 지역 내에서 임의로 설정하였다. 세부 좌표의 임의설정이 알고리즘의 학습에 문제가 되지 않는 이유는 데이터 전처리 과정에서 표적의 지리좌표를 군사좌표체계의 일종인 GARS(Global Area Reference System)<sup>[16]</sup>을 적용하여 경위도 1° X 1°를 하나의 셀로 변환하여 사용할 것이기 때문이다.

종속변수인 ‘Target priority’는 사막의 폭풍작전 1일차(D+1)의 작전목표와 지침에 따른 표적 우선순위를 걸프전 분석자료를 바탕으로 작성하였다. 개전 1일차 ATO를 위한 표적처리는 전체 전력의 승패를 좌우할 정도로 매우 중요하며, 또한 가장 복잡하면서도 주요한 표적처리 패턴을 포함하기 때문에 실험을 통해 기계학습 알고리즘이 1일차 표적처리 패턴을 학습하여 표적 우선순위를 예측(또는 분류)할 수 있음을 보이는 것은 본 실험에 적합한 설정이라 하겠다.

실제 JIPTL을 작성할 경우 표적의 우선 순위는 통상 A, B, C의 세가지 범주로 나누어 사용하나 본 실험에서는 보다 세부적인 성능 평가를 위해 Table 4와 같이 5가지 범주로 설정하였다.

작전 지침에 따라 공격을 시행한 횟수를 표적범주 별로 정리하면 Table 5<sup>[3]</sup>와 같으며, 공격횟수가 많은

표적범주가 우선순위가 높다고 볼 수 있으므로 공격 횟수의 비율을 반영하여 실험 데이터의 종속변수를 생성하였으며, 추가적으로 Fig. 6 형태의 걸프전 1일차 분석자료도 활용하였다. 총 공격횟수는 표적목록의

Table 4. Target priority class

Class	Definition
A	Top priority target, duplicated strikes recommended
B	High priority target
C	Not high priority for current operations, but valuable for future operations
D	Irrelevant to current and future operational directive
E	Low priority, no strike recommended despite reserved sorties

Table 5. Daily strikes by AIF categories

D+1 Daily Strikes	Air Power Survey	Experiment Dataset
OCA(Offensive Counter Air)	372	203
Nuclear, Biological, Chemical (NBC)	39	21
Command, Control and Communications(CCC)	161	88
Electricity	44	24
Government Control	32	17
Naval	13	7
Petroleum, Oil and Lubricants (POL)	33	18
Lines of Communication(LOC)	8	4
Ground Order of Battle(GOB)	282	154
Scuds	64	35
Surface to Air Missile(SAM)	139	76
Military Industrial Base	8	4
Total	1195	652

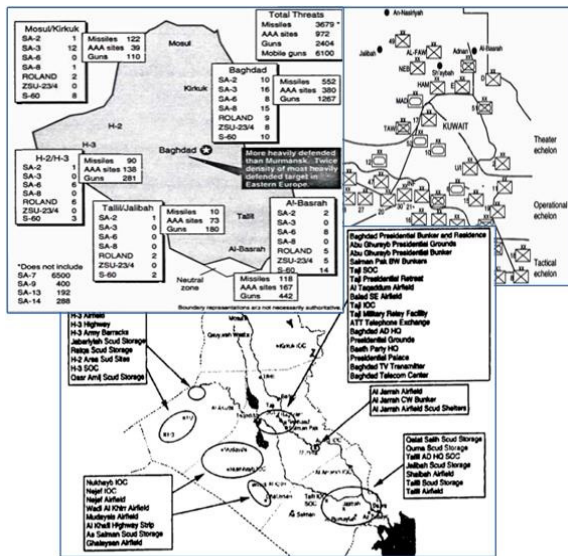


Fig. 6. Example of survey data

Table 6. Data pre-processing method

Attribute	Type	Description	Method
Cat 0	Categorical (Nominal)	Relation with Objective	Merge into a one variable Use the most detailed level of category ⇒ ‘TGT Catrgory’
Cat A	Categorical (Nominal)	Category of Installation	
Cat B	Categorical (Nominal)	Specific Type of Installation	
Cat C	Categorical (Nominal)	Equipment Model	
Location	Categorical (Nominal)	City / Area	Not to use
Latitude	DD°MM'SS"	Target Coordinate	Convert to ‘GARS Cell’
Longitude	DDD°MM'SS"		
Priority	Categorical (Ordinal)	Target Priority on JIPTL	None

Table 7. Pre-processing of experimental dataset

Before pre-processing dataset								
ID	Cat 0	Cat A	Cat B	Cat C	Location	Latitude	Longitude	Priority
1	OCA	Airfields	Airbases		Al Taqaddum	33 21 42 N	43 55 19 E	A
2	OCA	Airfields	Airbases		H2	33 34 06 N	40 56 27 E	A
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2467		Military Industrial Base	Material (Chiefly Military)		Kuwait city	29 42 24 N	48 00 33 E	C
2468		Military Industrial Base	Material (Chiefly Military)		Kuwait city	29 53 20 N	47 54 14 E	C



Pre-processed dataset			
ID	TGT Category	GARS Cell(Coordinate)	Priority
1	Airbases	448LG	A
2	Airbases	442LH	A
⋮	⋮	⋮	⋮
2467	Material(Chiefly Military)	457KZ	C
2468	Material(Chiefly Military)	456KZ	C

Table 8. Form of pre-processed data

Attribute	Type	Value	
		# of Class	Example
TGT Category (Target)	Categorical (Nominal)	61	Air Defence Headquarter, ..
GARS Cell (Coordinate)	Categorical (Nominal)	78	440LG, 441LG, ...
Priority	Categorical (Ordinal)	5	A, B, C, D, E

규모가 실제 대비 50 % 수준인 것을 고려하여 652회로 설정하였고, 총 공격횟수 및 표적 범주별 공격횟수의 한도 내에서 우선순위 A에는 공격횟수 1~2회, B에는 1회, C, D, E에는 0회를 배분하는 방식으로 종속변수를 생성하였다.

이와 같은 과정으로 생성된 실험 데이터셋은 8개 속성(독립변수 7개, 종속변수 1개), 결측치 없이 2,468개의 레코드로 구성되어 있으며, Table 6에서 보는 바와 같이 ‘Category 0 ~ C’는 가장 세부적인 하나의 범주로 통합, 좌표는 GARS를 적용하여 경위도 1° X 1° 단위의 셀로 변환하는 방법으로 전처리를 수행하였다. 전처리를 통한 데이터셋의 변화는 Table 7과 같으며, 전처리가 완료된 실험용 데이터의 세부 형태는 Table 8과 같다.

### 3.3 의사결정 나무 모형 학습

의사결정 나무 모형 학습은 R의 Party 패키지에 포함된 ctree 함수를 사용하여 수행하였다. ctree 함수는 순열 테스트에 기초한 불편 재귀분할(unbiased recursive partitioning based on permutation test) 방법을 사용하여 p-검정을 거친 유효한 분할만을 수행하므로 별도의 가지치기(pruning)를 하지 않더라도 과적합(overfitting)의 위험이 없는 특징<sup>[4]</sup>을 가지고 있다. 실험 데이터는 훈련 데이터셋 70 %(1727개), 검정 데이터셋 30 % (741개)로 분할하여 적용했으며, 훈련 데이터셋으로 모형에 패턴을 학습시키고, 검정 데이터셋으로 학습된 모형의 예측(또는 분류)성능을 평가하였다. 결과로 도출된 의사결정 나무 모형은, 29개의 의사결정 노드와 30개의 터미널 노드로 구성되었다(Fig. 7, Table 9, 10).



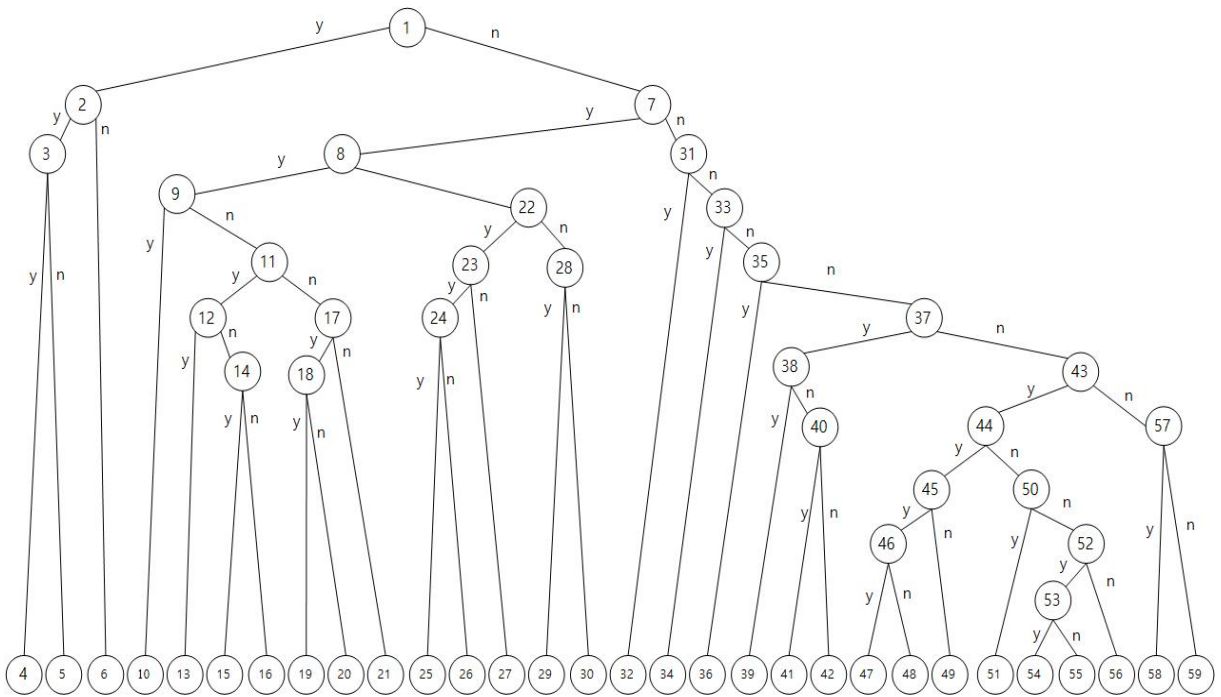


Fig. 7. Learned decision tree

모형의 분류 프로세스에 대한 해석부분을 살펴보면, Fig. 7의 학습된 의사결정 나무 모형은 표적 우선순위 결정을 위한 규칙들을 생성하였다. 예를 들어, 새로운 표적 데이터가 있을 경우, 1번 노드에서는 ‘TGT Category’가 Table 10의 Attribute에 명시된 Class에 해당되면 2번 노드로, 그렇지 않으면 7번 노드로 이동하고, 2번 노드에서도 ‘TGT Category’가 Table 10의 Attributes에 명시된 Class에 해당되면 3번 노드로 이동, 3번 노드에서는 ‘GARS Cell’에 따라 4번 노드로 가서 Table 9에 명시된 바와 같이 ‘priority’ A로 분류하거나, 5번 노드로 가서 ‘priority’ B로 분류되는 것을 의미한다. 이러한 규칙들은 다소 복잡할 수 있으나 지휘관 또는 의사결정권자가 이해하고 승인할 수 있는 형태를 가지고 있다.

### 3.4 모형 성능

검정 데이터셋을 사용하여 평가한 모형 성능은 Table 11과 같으며, p-value로 볼 때 결과는 통계적으로 유의한 것으로 판단된다. 모형의 전반적인 표적 우선순위 분류 정확도는 88.8 %이며, 우연히 일치할 확률을 배제한 정확도인 kappa 수치는 83.4 %로 대체로

우수한 편이다. 특히 최우선적인 공격표적으로 중복타격이 추천되는 표적인 A Class에 대한 분류 성능의 경우 전체 A로 예측한 것 중 97.1 % 적중했으며, 잘못 예측한 2.9 %도 반드시 공격해야 할 표적을 추천하지 않은 것이 아니라 우선순위가 상대적으로 떨어지는 소수의 표적을 추천한 것이므로 오류로 인한 작전상의 문제점은 상대적으로 낮다고 판단되며, 이러한 예측오류 발생 특성은 다른 Class에도 해당된다. 결과적으로 A Class에 대한 예측 정확도는 98.5 %로 매우 우수하며, 공격해야 하는 표적을 추천하지 않을 확률은 A Class의 경우 0 %, B Class의 경우 1.6 %로 우수한 예측성능을 가진다 하겠다.

모형의 성능이 우수한 것은 실험에 사용된 데이터가 결프전 개전 첫날의 작전지침을 재현한 것이며, 개전 초의 항공우주작전 중요도가 매우 높은 만큼 그 지침 또한 명확한 표적 우선순위 결정 패턴으로 데이터에 포함되기 때문이라 판단된다. 이후 전쟁이 진행되면서 데이터가 포함한 패턴이 다소 불명확해 진다면, 그 것은 해당 작전단계에서의 표적 범주 간 상대적 우선순위 차이가 적어졌음을 의미하는 것이므로 모형의 활용도를 손상시키는 것은 아니다.

Table 9. Terminal nodes

Node	weights					Freq
	A	B	C	D	E	
4	1	0	0	0	0	50
5	0	1	0	0	0	26
6	0.993	0.007	0	0	0	143
10	0	0	0	1	0	52
13	0	0	0.916	0.084	0	83
15	0	0.171	0.057	0.771	0	35
16	0	0	0.5	0.5	0	8
19	0	0.089	0.911	0	0	45
20	0.25	0.45	0.3	0	0	20
21	0	0	0.988	0.012	0	80
25	0	0	0.217	0.783	0	23
26	0	0	0	1	0	77
27	0	0	0.727	0.273	0	44
29	0	0	0.019	0.981	0	315
30	0	0	0.312	0.688	0	48
32	0	0	0	0	1	8
34	0.389	0.611	0	0	0	18
36	0	1	0	0	0	58
39	0	0	0.214	0.786	0	28
41	0	0.242	0.758	0	0	33
42	0	0	1	0	0	25
47	0	1	0	0	0	17
48	0	0.4	0.6	0	0	35
49	0	0	1	0	0	21
51	0	0	0.992	0.008	0	264
54	0	1	0	0	0	15
55	0	0.346	0.645	0	0	26
56	0	0.012	0.988	0	0	82
58	0	0	1	0	0	7
59	0	0.829	0.171	0	0	41

Table 11. Result of the performance test(confusion matrix and statistics)

Con. mat.	Reference					Overall Statistics
	A	B	C	D	E	
Prediction						Accuracy : 0.888 95 % CI : (0.863, 0.9098) No Information Rate : 0.4224 P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16 Kappa : 0.8336
A	66	0	0	0	0	
B	1	75	9	0	0	
C	0	23	275	16	0	
D	1	4	29	236	0	
E	0	0	0	0	6	
Statistics by Class						
	A	B	C	D	E	
Sensitivity	0.9706	0.7353	0.8786	0.9365	1.0000	
Specificity	1.0000	0.9844	0.9089	0.9305	1.0000	
Pos Pred Value	1.0000	0.8824	0.8758	0.8741	1.0000	
Neg Pred Value	0.9970	0.9588	0.9110	0.9660	1.0000	
Balanced Accuracy	0.9853	0.8598	0.8937	0.9335	1.0000	

#### 4. 결론

본 연구는 기계학습 알고리즘을 활용하여 항공우주 작전 표적처리에 대한 실제 적용 가능한 발전방안을 제시하였으며, 특히 군 조직 및 현행 작전수행체계의 특성을 반영하여 모형을 수립하고 보안문제로 접근하기 어려운 작전운영 메타데이터를 실제 전쟁통계분석 자료를 바탕으로 재구성하여 실험을 실시하였다. 실험 결과 긴급표적처리에 기계학습 알고리즘을 적용하면 실시간에 가까운 표적 우선순위 결정으로 전체 프로세스 소요시간을 획기적으로 단축할 수 있는 가능성을 확인하였다. 반면 본 연구에서는 실제 데이터가 아니라 인공적으로 생성된 가상 데이터셋을 이용하여 기계학습을 수행했다는 점과 기계학습을 위한 데이터가 아닌 기존의 사람이 표적처리를 수행하기 위해 만들어진 데이터의 내용과 형식을 그대로 적용했다는 점에서 제한사항을 가진다. 향후 기계학습 기반 표적처리 발전을 위해서는 기계학습에 최적화된 속성의 표적 데이터 발전에 대한 연구와 해당 분야에서의 기

Table 10. Decision nodes and p-value

Node	Attributes
1	<b>TGT.Category</b> = {Air Defense Headquarters, Airbases, Cruise Surface to Surface Missile Launch Positions, Fixed Positions For Mobile Missile Launchers, Radar collocated with SAM sites SA-2, Radar collocated with SAM sites SA-3, Radar collocated with SAM sites SA-6, Radar collocated with SAM sites SA-8, Surface to Air Missile Sites/Complexes SA-2, Surface to Air Missile Sites/Complexes SA-3, Surface to Air Missile Sites/Complexes SA-6, Surface to Air Missile Sites/Complexes SA-8}; p<0.001
2	<b>TGT.Category</b> = {Radar collocated with SAM sites SA-2, Radar collocated with SAM sites SA-3, Radar collocated with SAM sites SA-6}; p<0.001
3	<b>GARS.Cell</b> = {441LG, 441LH, 443LJ, 444LJ, 449LG}; p<0.001
7	<b>TGT.Category</b> = {Basic Processing, Electric Power Generating, Transmission, and Control Facilities, Government Detention Facilities, General, Ground Force Headquarters, Guided Missile and Space System Production and Assembly, Helicopter Bases, Highway Transportation, Meteorological radars, Naval Bases and Installations, Naval Headquarters and Staff Activities, Naval Supply Depots, Railroad Transportation, Technical Research, Development and Testing, Non nuclear, Telecommunications, Unidentified Control Facility }; p<0.001
8	<b>GARS.Cell</b> = {440LG, 441LG, 441LH, 443LG, 443LJ, 444LG, 444LJ, 445LG, 446LG, 448LG, 448LN, 449LG, 449LN, 450LE, 451LE, 452LC, 454LB, 455LA, 456LA, 456LB, 457LA}; p<0.001
9	<b>TGT.Category</b> = {Basic Processing, Government Detention Facilities, General, Ground Force Headquarters, Helicopter Bases, Meteorological radars, Technical Research, Development and Testing, Non nuclear, Unidentified Control Facility }; p<0.001
11	<b>TGT.Category</b> = {Highway Transportation, Railroad Transportation}; p<0.001
12	<b>GARS.Cell</b> = {441LH, 448LN, 449LG, 449LN, 456LB}; p<0.001
14	<b>TGT.Category</b> = {Highway Transportation}; p<0.008
17	<b>TGT.Category</b> = {Electric Power Generating, Transmission, and Control Facilities}; p<0.001
18	<b>GARS.Cell</b> = {441LG, 441LH, 443LJ, 444LJ, 448LN, 449LN, 456LB, 457LA}; p<0.014
22	<b>TGT.Category</b> = {Electric Power Generating, Transmission, and Control Facilities, Railroad Transportation}; p<0.001
23	<b>GARS.Cell</b> = {442LJ, 444LF, 446LE, 446LN, 446LP, 447LG, 447LP, 448LF, 448LJ, 449LH, 449LM, 450LB, 450LD, 450LH, 450LK, 451LC, 451LD, 451LM, 452LF, 453LB, 453LD, 455LD, 456KY, 456KZ, 457KZ}; p<0.001
24	<b>TGT.Category</b> = {Railroad Transportation }; p<0.001
28	<b>GARS.Cell</b> = {442LJ, 444LE, 444LF, 445LE, 446LD, 446LE, 446LN, 446LP, 447LE, 447LN, 447LP, 448LB, 448LF, 448LJ, 448LK, 449LB, 449LH, 449LJ, 449LL, 449LM, 450LB, 450LD, 450LG, 450LH, 450LJ, 450LK, 451LC, 451LF, 451LM, 452KY, 452LF, 453KY, 453LB, 453LC, 453LD, 454KY, 454KZ, 454LA, 455KY, 455KZ, 455LC, 455LD, 456KX, 456KY, 456KZ, 457KX, 457KY, 457KZ}; p<0.02
31	<b>TGT.Category</b> = {Government Ministries and Administrative Bodies, Nonmilitary, General, Maritime Port Facilities}; p<0.001
33	<b>TGT.Category</b> = {Chemical and Biological Production and Storage, Government Bodies, General}; p<0.001
35	<b>TGT.Category</b> = {Fortifications and Defense Systems, Ground Force Material and Storage Depots, National, Combined and Joint Commands}; p<0.001
37	<b>GARS.Cell</b> = {442LJ, 455LA, 455LB, 456KY, 457LA}; p<0.001
38	<b>TGT.Category</b> = {ATC/Nav aids, Fixed Missile Facility, General, Fixed, Surface to Surface Missile Sites, Material(Chiefly Military), Military Troop Installations, Offensive Missile Support Facilities, Radar Installations, Reserve Fields, Tactical Surface to Air Missile Sites/Installations ROLAND, Tactical Surface to Air Missile Sites/Installations S-60, Tactical Surface to Air Missile Sites/Installations ZSU-23/4}; p<0.001
40	<b>GARS.Cell</b> = {442LJ, 455LB, 456KY}; p<0.033
43	<b>GARS.Cell</b> = {441LG, 441LH, 443LJ, 444LE, 444LJ, 445LH, 445LJ, 446LD, 447LG, 447LH, 447LN, 448LB, 448LG, 448LJ, 448LK, 448LN, 449LB, 449LE, 449LF, 449LG, 449LJ, 449LL, 449LN, 450LH, 451LC, 452KY, 452LF, 453KY, 453LB, 453LC, 454KY, 454KZ, 454LA, 454LB, 455KY, 455KZ, 455LD, 456KZ, 456LA, 456LB, 457KY, 457KZ}; p<0.001
44	<b>TGT.Category</b> = {End Products(Chiefly Civilian), Fixed, Surface to Surface Missile Sites, Government Control Centers, Offensive Air Command Control Headquarters and Schools, Shipborne Missile Support Facilities, Tactical Surface to Air Missile Sites/Installations ROLAND}; p<0.001
45	<b>GARS.Cell</b> = {441LG, 448LK, 449LG, 454LB, 456LA, 456LB, 457KZ}; p<0.013
46	<b>TGT.Category</b> = {End Products(Chiefly Civilian), Fixed, Surface to Surface Missile Sites, Offensive Air Command Control Headquarters and Schools, Shipborne Missile Support Facilities}; p<0.002
50	<b>GARS.Cell</b> = {441LG, 441LH, 443LJ, 444LE, 444LJ, 445LH, 445LJ, 446LD, 447LG, 447LH, 447LN, 448LB, 448LJ, 448LK, 448LN, 449LB, 449LJ, 449LL, 449LN, 450LH, 451LC, 452KY, 452LF, 453KY, 453LB, 454KY, 454KZ, 454LA, 454LB, 455KY, 455KZ, 455LD, 456KZ, 456LB, 457KZ}; p<0.036
52	<b>TGT.Category</b> = {Military Troop Installations, POL and Related Products Production, Pipeline and Storage Facilities}; p<0.001
53	<b>GARS.Cell</b> = {449LE, 449LF, 449LG, 457KY}; p<0.007
57	<b>TGT.Category</b> = {ATC/Nav aids, Radar Installations, Reserve Fields}; p<0.001

계학습 알고리즘 적용에 대한 거부감이 제거된 이후를 대비하여 다양한 알고리즘을 대상으로 더욱 우수한 정확도를 가지는 모형 적용방안에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2019학년도 한남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] E. A. Cohen, et. al., "Volume I Planning and Command and Control, Gulf War Air Power Survey," Washington, D. C., 1993.
- [2] E. A. Cohen, et. al., "Volume V A Statistical Compendium and Chronology, Gulf War Air Power Survey," Washington, D. C., 1993.
- [3] J. A. Winnefeld, P. Niblack, D. J. Johnson, "A League of Airmen U.S. Air Power in the Gulf War," Santa Monica, CA: RAND, 1994.
- [4] U.S. Joint Chiefs of Staff, "DOD Dictionary of Military and Associated Terms," 2018.
- [5] U.S. Joint Chiefs of Staff, "Joint Publication 3-60 Joint Targeting," 2013.
- [6] Y. Park, et. al., "Introduction to Military Studies," Seoul: Planet Media, pp. 129-187, 2014.
- [7] B. J. Zacherl, "Weapon-Target Pairing; Revising an Air Tasking Order in Real-Time," Unpublished Master's Thesis, CA: Naval Postgraduate School, 2006.
- [8] D. Aberdeen, O. Pacovsky and A. Slater, "The Learning Behind Gmail Priority Inbox," LCCC: NIPS 2010 Workshop on Learning on Cores, Clusters and Clouds, 2010.
- [9] J. Kang, D. Yim and B. Choi, "A Study on the Application of Machine Learning Algorithms to Dynamic Targeting of Real-Time Air Targets," Journal of Military Science and Technology Studies, Vol. 11, No. 2, pp. 21-30, 2018.
- [10] K. Conner, P. Lambertson and M. Roberson, "Analyzing the Air Operations Center(AOC) Air Tasking Order(ATO) Process Using Theory of Constraints(TOC)," Unpublished Master's Thesis, Air Force Institute of Technology, 2005.
- [11] O. A. S. Ibrahim and D. Landa-Silva, "ES-Rank: Evolution Strategy Learning to Rank Approach," SAC 2017 Proceedings of the Symposium on Applied Computing, pp. 944-950, 2017.
- [12] S. D. MacArthur, C. E. Brodley and C. Shyu, "Relevance Feedback Decision Trees in Content-Based Image Retrieval," Proceedings of the IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries, 2000.
- [13] T. Liu, "Learning to Rank for Information Retrieval," Foundations and Trends in Information Retrieval, Vol. 3, No. 3, pp. 225-331, 2009.
- [14] T. Hothorn, K. Hornik and A. Zeileis, "Ctree: Conditional Inference Trees," The Comprehensive R Archive Network, pp. 1-35, 2015.
- [15] Wikipedia, "Decision Tree Learning," 2018, [https://en.wikipedia.org/wiki/Decision\\_tree\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree_learning)(accessed Nov 11, 2018).
- [16] Office of Geomatics: Coordinate Systems Analysis, "Global Area Reference System(GARS)," 2018, <http://earth-info.nga.mil/GandG/coordsys/grids/gars.html> (accessed Nov 11, 2018).
- [17] Wikipedia, "Machine Learning," 2018, [https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning)(accessed Nov 11, 2018).