

## Implementation of JDAM virtual training function using machine learning

Eun-Kyung You\*, Chan-Gyu Bae\*, Hyeock-Jin Kim\*\*

\*Software Engineer, Avionics Software Development Center, Seosan, Korea

\*Software Engineer, Avionics Software Development Center, Seosan, Korea

\*\*Professor, Dept. of Computer Engineering, Chungwoon University, Incheon, Korea

### [Abstract]

The TA-50 aircraft is conducting simulated training on various situations, including air-to-air and air-to-ground fire training, in preparation for air warfare. It is also used for pilot training before actual deployment. However, the TA-50 does not have the ability to operate smart weapon forces, limiting training. Therefore, the purpose of this study is to implement the TA-50 aircraft to enable virtual training of one of the smart weapons, the Point Direct Attack Munition (JDAM). First, JDAM functions implemented in FA-50 aircraft, a model similar to TA-50 aircraft, were analyzed. In addition, since functions implemented in FA-50 aircraft cannot be directly utilized by source code, algorithms were extracted using machine learning techniques(TensorFlow). The implementation of this function is expected to enable realistic training without actually having to be armed. Finally, based on the results of this study, we would like to propose ways to supplement the limitations of the research so that it can be implemented in the same way as it is.

▶ **Key words:** TA-50 aircraft, JDAM, Smart Weapon, Mission Computer, Machine Learning

### [요 약]

TA-50 항공기는 공중전에 대비하여 공대공, 공대지 사격 훈련 등 다양한 상황에 대한 모의 훈련을 수행하고 있다. 또한 조종사의 실전 배치 전 훈련용으로도 사용되고 있다. 그러나 TA-50은 스마트 무장 운용 능력을 보유하고 있지 않아 훈련에 제한이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 TA-50 항공기에 스마트 무장 중 하나인 합동정밀직격탄(JDAM)의 가상훈련이 가능하도록 구현하고자 하였다. 먼저, TA-50 항공기와 유사한 기종인 FA-50 항공기에 구현된 JDAM 기능을 분석하였다. 또한 FA-50 항공기에 구현된 기능은 소스코드의 직접 활용이 불가능하므로 머신러닝 기법(TensorFlow)을 활용하여 알고리즘을 추출하였다. 본 기능을 구현함으로써 실 무장을 장착하지 않아도 실제와 유사한 훈련이 가능할 것으로 기대된다. 마지막으로 본 연구 결과를 바탕으로 연구의 한계점을 보완하여 실제와 동일하게 구현할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

▶ **주제어:** TA-50 전투기, 합동정밀직격탄, 스마트 무장, 임무컴퓨터, 머신러닝

- 
- First Author: Eun-Kyung You, Corresponding Author: Hyeock-Jin Kim
  - \*Eun-Kyung You (yek0444@hanmail.net), Avionics Software Development Center
  - \*Chan-Gyu Bae (ventus@gmail.com), Avionics Software Development Center
  - \*\*Hyeock-Jin Kim (jin1304@chungwoon.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Chungwoon University
  - Received: 2020. 07. 20, Revised: 2020. 11. 09, Accepted: 2020. 11. 09.
  - This paper was published at the 61st Winter Conference of the Korean Society of Computer Information in 2020 and expanded the "A Study on Dynamic Launch Zone Algorithm Using Machine Learning"

## I. Introduction

공군은 공중전을 대비하여 경계태세 강화와 적 도발에 대응할 수 있는 훈련을 수행하고 있다. 공군의 목표는 민간피해를 최소화하면서 적의 공격에 신속하고 정밀하게 즉각 대응하는 것이라고 할 수 있다. 특히 현대전에서는 정밀타격에 최적화된 스마트 무장 운용 능력의 중요성이 증대되고 있다.

스마트 무장의 하나인 합동정밀직격탄(JDAM, Joint Direct Attack Munition)은 재래식 폭탄에 정밀 유도장치를 장착하여 변형시킨 유도폭탄이다[1]. 이는 적의 해안포 및 장사정포 진지로 정확하게 유도되며, 기상상황에 관계없이 정밀 타격이 가능한 무장이다. 스마트 무장은 전투기 내 최신 항공전자시스템이 장착된 F-15K, F-16 등에서 운용되고 있다. 뿐만 아니라, 한국 공군은 2011년 주력 기종인 KF-16에 JDAM을 장착하고 자체 기술로 연동 소프트웨어를 개발하여 운용하고 있다.

한편, 공군은 KF-16을 재현해 한국항공우주산업(KAI)에서 만든 T-50계열 항공기를 활용하여 훈련을 수행하고 있다. 특히 TA-50은 무장 장착이 가능하여 훈련조종사의 전술입문과정(LIFT, Lead In Fighter Training)으로 운용되고 있다[2]. 즉, 예비 조종사들은 모두 TA-50 비행 훈련을 마친 뒤 F-15K, KF-16, FA-50 등을 운용하는 전투 비행대대로 실전 배치되는 것이다. 그러나 TA-50은 재래식폭탄과 공대공 미사일 등은 장착이 가능하지만, 스마트 무장은 장착이 불가능하여 JDAM 훈련이 제한되고 있다.

이에 한국 공군은 TA-50에 JDAM을 장착 운용할 수 있는 방안을 연구하였다. 항공기에 신규 무장을 장착하여 운용하기 위해서는 항공기와 무장 간 물리적 인터페이스 연동이 필요하다. 또한 항공기 임무컴퓨터(MC, Mission Computer)와 항공전자시스템 소프트웨어 개발이 수행되어야 한다. 관련 시스템에는 비행제어시스템(FLCC, Flight Control Computer), 무장관리시스템(SMS, Stores Management Set), 임무계획시스템(MPS, Mission Planning System)을 들 수 있다[3].

그러나 현재 한국 공군은 TA-50의 임무컴퓨터와 임무 계획시스템 소프트웨어 개조 능력만 보유하고 있으며, 그 외 항전시스템 소프트웨어는 보유하고 있지 않다. 또한 항공기와 무장 간 물리적 연동을 구현하기 위해서는 막대한 비용과 기간이 요구된다.

이에 본 연구에서는 항전시스템 구현을 제외하고 항공기 임무컴퓨터 단독으로 기능을 구현할 수 있는 방안을 연구하였다. 즉, 물리적 연동 없이 가상으로 TA-50 항공기

임무컴퓨터인 IMDC(Integrated Mission Display Computer) 소프트웨어를 개조하여 JDAM 운용 기능을 구현하는 것이다.

본 기능을 구현하기 위해 첫째, 현재 FA-50에 구현되어 있는 JDAM 운용 기능을 분석하였다. FA-50을 기준으로 조종사와 항공기간의 상호 연관성(PVI, Pilot Vehicle Interface)을 설계하였으며, 이를 조종석 시현장치인 전방시현기(HUD, Head Up Display)와 다기능시현기(MFD, Multi-Function Display)에 JDAM 관련 정보를 제공한다. 둘째, JDAM 무장투하가능구역을 HUD에 시현하기 위한 알고리즘을 연구하였다. FA-50에 내장된 무장투하구역 알고리즘은 라이브러리 형태로 구현되어 있어 소스코드 활용이 불가능하다. 이에 빅 데이터와 머신러닝 기법을 활용하여 알고리즘을 구현하고자 한다. FA-50 무장투하구역 입/출력 값을 추출한 후 머신러닝 기법으로 학습한 알고리즘을 TA-50에 적용하였다. 본 논문에서는 머신러닝 기법을 활용하여 무장투하구역 알고리즘을 구현한 내용을 중심으로 작성하였다.

본 기능의 한계점은 첫째, 실제 무장 장착이 불가능하기 때문에 다른 항전시스템과 연동하여 기능을 구현할 수 없다는 것이다. 그러나 가상 기능을 통해 훈련조종사가 실전 배치되기 전 JDAM 기능을 충분히 연습할 수 있는 능력을 제공할 수 있다. 둘째, 실제 대기환경을 반영한 데이터 추출이 불가능하였다. 따라서 FA-50과 비교할 경우 실제 환경에서는 약간의 오차가 발생할 수 있다. 그러나 본 기능은 가상 기능이므로 무장이 투하되지 않기 때문에 허용 가능한 오차범위에서 기능을 구현하였다.

본 기능 검증을 위해 TA-50 항공기 임무컴퓨터의 비행운용프로그램(OPF, Operational Flight Program) 소프트웨어를 개조하고, 단위시험 테스트 및 시스템 통합시험을 수행한다. TA-50 항공기와 동일한 항전시스템이 장착된 지상모의장비(AHB, Avionics Hot Bench)를 활용하여 다양한 상황을 모의하여 검증을 수행하였다. 마지막으로 TA-50 항공기에 OPF를 장입하여 조종사 비행시험을 수행하였다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

#### 1.1 Joint Direct Attack Munition

JDAM은 항공기에서 지상 목표를 공격하는데 사용되는 재래식 폭탄에 위성항법시스템(GPS, Global Positioning System)과 관성항법장치(INS, Inertial Navigation

System)를 활용한 목표 추적 기능을 추가하여 정밀 폭격이 가능하도록 제작된 유도 폭탄이다[4]. 정밀 유도가 가능하기 때문에 주, 야간이나 기상 영향 받지 않으며, 목표물까지 직접 조준하지 않아도 스스로 목표물을 찾아가는 장점이 있다. 사거리는 24km이고, 오차범위는 최저 13m로 재래식 폭탄의 오차범위에 비해 수배에 달하는 높은 정확성을 제공하고 있다[5].

JDAM 운용 시나리오는 Fig. 1과 같다. 조종사는 지상에서 MPS를 이용하여 표적 정보 및 무장 투하 관련 자료를 입력하고, 항공기에 장입한다. 항공기는 JDAM에 전원을 공급하고, 임무컴퓨터는 자체 내장시험(BIT, Built In Test)을 수행 후 임무 자료를 JDAM으로 전송한다. 항법시스템이 준비되면 조종석 시현장치에 JDAM 무장투하가 가능한 구역인 동적발사영역(DLZ, Dynamic Launch Zone) 및 각종 심벌을 시현한다. 조종사는 JDAM이 DLZ에 도달하면 무장을 투하한다.

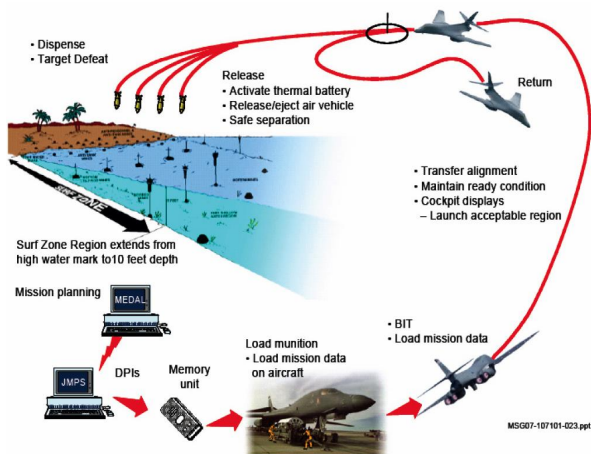


Fig. 1. JDAM Operational Scenario[6]

조종사는 JDAM을 정확하게 투하하기 위한 시점을 판단하기 위해 HUD에 시현되는 DLZ 영역을 참조한다. DLZ를 구성하는 요소는 Fig. 2와 같다. Rmax0은 JDAM이 도달할 수 있는 최대 사거리를 나타낸다. Rmax1과 Rmin1은 JDAM이 표적에 진입하는 수직/수평각 중 하나만 만족하는 최대/최소 사거리를 나타낸다. 즉, Rmax1과 Rmin1을 지나는 In Range 영역은 JDAM이 표적에 적중하기 위한 최소한의 조건을 의미한다. Rmax2와 Rmin2는 JDAM이 표적에 진입하는 수직/수평각을 모두 만족하는 최대/최소 사거리를 나타낸다. 즉, Rmax2와 Rmin2를 지나는 In Zone 영역은 JDAM이 표적에 적중하기 위한 최적의 조건을 의미한다. Fig. 2의 우측에 시현되는 심벌이 HUD 우측 화면에 시현되며, 조종사는 Target Range 심벌의 위치 따라 무장투하 시점을 판단한다.

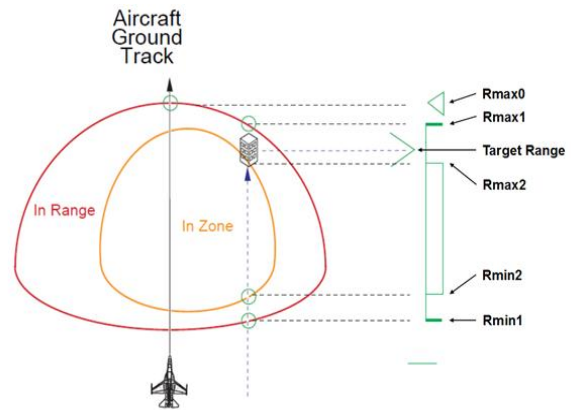


Fig. 2. Dynamic Launch Zone of JDAM

### 1.2 Machine Learning using Big data

컴퓨터 기술의 발전으로 빅데이터는 과학 기술 분야를 넘어 사회, 문화, 경제 등 모든 영역에 걸쳐 그 중요성이 부각되고 있다[7]. 특히, 항공운송, 항공사, 공항 등 다양한 분야에서 빅데이터를 활용하고 있다[8].

빅데이터 분석의 대표적인 기술로는 기계학습(Machine Learning)이 폭넓게 활용되고 있다. 기계학습은 다양한 확률, 통계, 컴퓨터 구조, 알고리즘 등을 활용해 이상적인 학습모델을 제공하는 융합 기술이다[9]. 이처럼 빅데이터와 기계학습의 연구 범위와 활용 분야는 광범위하게 증가하고 있다[10].

대표적인 기계학습으로는 구글에서 공개한 오픈소스 플랫폼인 TensorFlow가 있다. Python, Java script, Swift와 같은 다양한 언어를 지원하며, Windows, iOS, Android 및 클라우드 플랫폼에서 사용 가능하다. TensorFlow는 필요에 따라 추상화 수준을 다르게 제공한다. 간단하게는 입력 값과 출력 값만 넣고 나머지 대부분의 파라미터는 기본 값을 사용하여 원하는 모델을 얻을 수 있다. 이 모델을 플랫폼에 통합시켜 제품이나 서비스를 개발하는데 사용할 수 있다. 다른 방법으로는 최적화 함수 및 tensor(데이터 흐름을 tensor로 지칭)의 개수와 파라미터까지 세부적으로 설정할 수 있다[11].

본 연구에서 구현하고자 하는 DLZ 알고리즘은 PowerPC 68계열의 VxWorks 운영체제에서 C언어로 작성되며, 20msec 이내에 수행되어야 하는 Near Real-time 환경이다[12]. TA-50 항공기와 유사한 기종인 FA-50 항공기의 JDAM PVI와 유사하게 구현하는 것이 목표이며, FA-50에 구현된 JDAM 소스코드는 정적 라이브러리 형태로 제공되기 때문에 직접 활용이 불가능하여 TensorFlow와 같은 기계학습 방식을 활용하였다. JDAM 기능 구현을 위한 입력 값에 대한 출력 값을 평가하여 원본 데이터 셋과의 평균 제곱 오차가 최소화 되도록 학습한 가설 식을 만드는 것을 목표로 하였다.

### III. Software Design

#### 1. DLZ algorithm using Big data

FA-50에 적용된 JDAM DLZ 알고리즘은 라이브러리 형태로 구현되어 있으나, FA-50 항공기와 동일한 환경을 제공하는 지상모의장비(AHB, Avionics Hot Bench)를 활용하여 빅데이터를 수집할 수 있다. AHB에서 실제 항공기와 동일한 환경을 구축한 후, FA-50 JDAM DLZ의 입력 값에 따른 출력 값 변화 패턴을 분석한 결과 대부분 선형적인 형태로 나타나는 것을 확인하였다. 해당 입력 값 및 출력 값은 2.1에서 정의하였다. Fig. 3은 FA-50 JDAM DLZ 알고리즘의 입력 값 중 다른 조건은 동일하게 설정하고 항공기 속도인 Mach값만 변경할 경우의 최대 투하 사거리를 나타내고 있다. 이 그래프를 입력값과 출력값을 표로 작성한 후 엑셀을 활용하여 회귀식으로 나타내면 다음 식1과 같다.

$$\text{식1. } f(x) = 50559x - 212.75$$

이는 다른 조건을 통제한다는 가정 하에 최대 투하 사거리는  $50559 \times \text{Mach} - 212.75$ 의 형태로 표현할 수 있다는 의미이다.

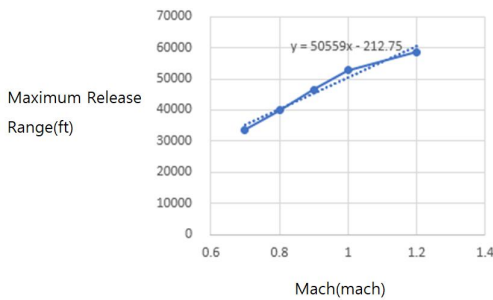


Fig. 3. Mach vs Maximum release range with regression expression

두 번째 사례인 Fig. 4는 다른 조건은 모두 동일하게 설정하고 비행경로각(FPA, Flight Path Angle)의 변화에 따른 최대 투하 사거리의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 그래프 역시 입력값과 출력값을 표로 작성한 후 엑셀을 활용하여 회귀식으로 나타내면 다음 식2와 같다.

$$\text{식1. } f(x) = 4973.4x + 19222$$

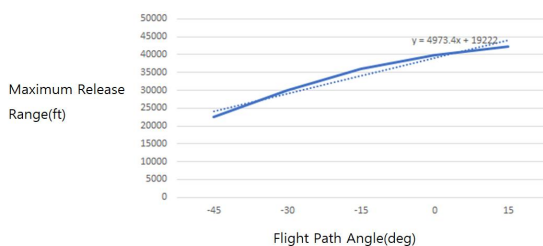


Fig. 4. FPA vs Maximum release range with regression expression

위 두 사례에서 확인했듯이 DLZ 알고리즘의 입력 값과 출력 값의 관계가 선형적이라는 것은 회귀식을 통해 표현할 수 있다는 의미이다.

이에 따라 FA-50 JDAM DLZ 계산 알고리즘의 입력 값에 대한 출력 값을 대규모로 추출하여 회귀식을 세우고, 회귀식이 일정 수준의 오차 범위 내에서 무장투하구역 모델을 개발하였다.

#### 2. Software Design of the JDAM DLZ

##### 2.1 Filtering the Input variables

FA-50 임무컴퓨터의 JDAM DLZ 계산에 사용되는 입력 변수를 확인하고 이 중 알고리즘 개발에 필요한 변수는 다음 Table 1과 같다[13].

Table 1. Input variables for the JDAM DLZ calculation

Input Variables (unit)	Necessity
JDAM Weapon Type	X
Height Above Target (ft)	0
Mach (mach)	0
Flight Path Angle (deg)	0
Target Altitude (ft, msl)	0
Wind Along Track (fps)	0
Wind Cross Track (fps)	0
Target Bearing (deg)	X
Target Range (NM)	0
Impact Azimuth (deg)	0
Impact Azimuth Validity (True/False)	0
Impact Elevation (deg)	0
Minimum Velocity (ft/s)	X

##### a) JDAM Weapon Type

항공기에 따라 운용 가능한 JDAM의 종류는 다양하고 JDAM의 세부 특성에 따라 DLZ 계산은 달라진다. 본 연구에서는 FA-50에서 운용하는 JDAM으로 한정하였다.

##### b) Height Above Target

항공기가 표적 보다 얼마나 높이 위치해 있는지 나타내는 변수로써 ft 단위를 사용한다.

##### c) Mach

항공기의 속도를 음속으로 나타낸다.

##### d) Flight Path Angle

항공기가 지표면을 기준으로 고개를 들거나 내린 각도를 나타내는 변수로써 degree 단위를 사용한다.

##### e) Target Altitude

표적 고도를 나타내는 변수로써 ft 단위를 사용한다.

##### f) Wind Along Track

항공기 동체 방향의 바람 속도를 나타내는 입력 변수로써 ft/sec 단위를 사용한다.

##### g) Wind Cross Track

항공기 동체와 90도 직교하는 방향의 바람 속도를 나타내는 입력 변수로써 ft/sec 단위를 사용한다.

#### h) Target Bearing

항공기와 표적간의 방위각을 나타내는 입력 변수로써 degree 단위를 사용한다. Target Bearing은 샘플링을 통해 확인한 결과 Target Bearing이  $\pm 10^\circ$ 를 넘는 경우 Table 2의 DLZ Validity가 유효하지 않았으며,  $\pm 10^\circ$  이내에서 Target Bearing 변화량에 따른 DLZ 값의 변동이 크지 않으므로 결과 값에 유의미한 영향을 미치지 않아 제외하였다.

#### i) Target Range

항공기와 표적간의 거리를 나타내는 입력 변수로써 Nautical Mile(NM) 단위를 사용한다.

#### j) Impact Azimuth

JDAM이 표적에 맞는 순간, 지표면과 JDAM의 사잇각을 나타내는 입력 변수로써 degree 단위를 사용한다.

#### k) Impact Azimuth Validity

위에서 나타낸 Impact Azimuth 입력 변수의 유효성 여부를 나타낸다. Impact Azimuth와 Impact Elevation은 Rmin2와 Rmax2 계산시 사용된다.

#### l) Impact Elevation

자복을 기준으로 JDAM이 표적에 진입하는 각도를 나타내는 입력 변수로써 degree 단위를 사용한다.

#### m) Minimum Velocity

JDAM이 표적에 맞는 순간의 속도를 나타내는 입력 변수로써 ft/sec를 단위로 사용하나, FA-50에서는 사용하지 않음에 따라 본 연구에서는 적용하지 않았다.

## 2.2 DLZ output using filtered input variables

입력 변수에 따른 FA-50 임무컴퓨터에서 계산한 JDAM DLZ output과 TA-50 알고리즘 개발 적용 output data는 다음 Table 2와 같다[13].

Table 2. Output data of the JDAM DLZ

Output data (unit)	Usability
RMIN1 (In-Range, ft)	0
RMIN2 (In-Zone, ft)	0
RMAX1 (In-Range, ft)	0
RMAX2 (In-Zone, ft)	0
RMAX0 (Maximum Release range, ft)	0
Time of Flight (sec)	0
Optimum Loft Angle (deg)	X
Required Climb Angle (deg)	0
Required Turn Angle (deg)	X
Time to go (sec)	0
DLZ Validity (T/F)	X
Optimum Loft Angle Validity (T/F)	X
Required Turn Angle Validity (T/F)	X
Time to go Validity (T/F)	0

FA-50에서 사용하지 않거나, 사용 빈도가 낮은 값은 적용하지 않았으며, 출력값에 대한 설명은 다음과 같다.

#### a) RMIN1

Impact Azimuth와 Impact Elevation 중 1개만 만족하는 최소 투하 거리를 나타내는 값으로써 ft를 단위로 사용한다.

#### b) RMIN2

Impact Azimuth와 Impact Elevation을 모두 만족하는 최소 투하 거리를 나타내는 값으로써 ft를 단위로 사용한다.

#### c) RMAX1

Impact Azimuth와 Impact Elevation 중 1개만 만족하는 최대 투하 거리를 나타내는 값으로써 ft를 단위로 사용한다.

#### d) RMAX2

Impact Azimuth와 Impact Elevation을 모두 만족하는 최대 투하 거리를 나타내는 값으로써 ft를 단위로 사용한다.

#### e) RMAX0

Impact Azimuth와 Impact Elevation을 모두 만족하지 않은 경우 JDAM이 도달할 수 있는 최대 투하 거리를 나타내는 값으로써 ft를 단위로 사용한다.

#### f) Time of Flight

현재 상태에서 JDAM을 투하할 경우, JDAM의 비행 시간을 초 단위로 표현한다.

#### g) Required Climb Angle

항공기가 JDAM을 RMAX2와 RMIN2 사이에서 투하하고자 할 경우 취해야 하는 수평면 기준 항공기의 각도를 나타낸다.

#### h) Time to Go

항공기가 RMAX2 보다 먼 거리에 있는 경우, RMAX2까지 남은 시간을 초 단위로 나타낸다.

#### i) Time to Go Validity

Time to Go값의 유효성을 나타낸다.

## 2.3 Limiting the input variables for the DLZ extraction

FA-50 시험 환경에서 고도(Height above Target)에 따른 DLZ를 추출하기 위해 JDAM 연동제어문서(Interface Control Document)에 근거하여 Low, Medium, High로 분류하였다[13]. 각 분류별로 입력 변수를 변화시켜 조건에 따른 출력 값을 AHB에서 확인하기 위해 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 3. Input variables and range for conditional Altitude

Input Variables (unit)	Input Range
Height Above Target (ft)	000 ~ 0000
Mach (mach)	0.0 ~ 0.0
Flight Path Angle (deg)	0 ~ 00
Target Altitude (ft, msl)	0 ~ 0000
Wind Along Track (fps)	-000 ~ 000
Wind Cross Track (fps)	-000 ~ 000
Target Range (NM)	00
Impact Azimuth (deg)	0, 00
Impact Azimuth Validity (T/F)	0, 1
Impact Elevation (deg)	00 ~ 00

\* Shown as 0 for security

2.4 Extracting data for Machine Learning

텐서플로우 학습을 통해 JDAM DLZ 알고리즘을 개발하기 위해 항공기 상태에 따른 DLZ 출력 값을 정제하였다. 정제 기준은 '최대/최소 투하거리' 값이 모두 0이 아니고, Table 2의 'DLZ Validity' 값이 유효한 경우로 한정하였다. 확보된 데이터 중 정제 과정을 거쳐 학습에 사용한 데이터는 Table 4와 같다.

Table 4. Extract valid data according to Altitude

Altitude	Number of data	Valid data	Valid ratio
Low	480,000	93,558	19.5%
Medium	756,000	308,856	40.9%
High	900,000	634,832	70.5%
Total	2,136,000	1,037,246	48.6%

저/중고도 조건에서 추출된 데이터 셋은 고고도에 비해 낮은 비율의 유효 데이터만 추출되었는데, 이는 FA-50 DLZ 데이터 추출 시 사용된 입력 데이터 중 바람 속도 값이 저/중고도 조건에서는 Table 2의 'DLZ Validity' 값이 유효하지 않은 경우가 대부분이었기 때문이다.

2.5 Learning the DLZ algorithm using TensorFlow

DLZ 알고리즘을 구현하기 위해 필터링과 추출 과정을 거쳐 CSV 파일 형태로 입력 값을 설정하고, 원활한 학습을 위해 0~1 사이의 값으로 정규화를 수행하였다. 비용 함수는 가설식 (hypothesis)과 출력 값(output\_data) 차이의 평균 제곱 값으로 정의하였다. 이는 평균 오차를 최소화하여 신뢰성을 높일 수 있는 방향으로 학습하기 위해 적용하였다. 최적화 함수는 비용이 최소화되도록 GradientDescentOptimizer 함수를 사용하였다. 학습에 사용된 가설식과 weight 및 bias 개수는 무장투하구역 구성요소 별로 차이가 있으며 개별 내용은 'a~d' 항목에서 설명한다. TensorFlow를 활용한 DLZ 학습 과정은 Fig. 5와 같다.

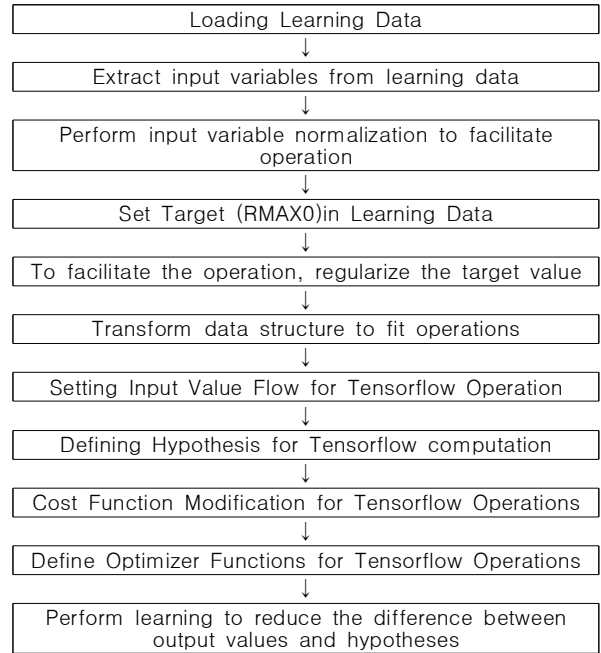


Fig. 5. Pseudo code for DLZ learning using TensorFlow

a. Learning the maximum release range(Rmax0)

항공기 상태에 따른 최대 투하거리(Rmax0) 모델을 만들기 위해 입력 값에 따른 Rmax0 변화량을 확인한 결과 항공기 고도, 수평 자세, 마하수, 풍속에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다[13]. Rmax0은 다음 수식을 통해 입력 데이터와 출력데이터의 평균 제곱오차가 최소화되는 형태로 weight와 bias값을 학습시켰다.

$$\text{최대 투하거리(RMAX0)} = \text{HAT} \times w1 + (\text{FPA}^2 \times w2 + \text{FPA} \times w3 + b\_fpa) \times (\text{HAT} \times w4 + \text{MACH} \times w5) + \text{MACH} \times w6 - \text{TGT\_ALT} \times w7 + (\text{WIND\_ALT}^2 \times w8 + \text{WIND\_ALT} \times w9 + b\_wind\_alt) - (\text{WIND\_CROSS}^2 \times w10 + \text{WIND\_CROSS} \times w11 + b\_wind\_cross) + \text{bias}$$

\* w1~w11 : weight(가중치)

b\_fpa, b\_wind\_alt, b\_wind\_cross, bias : bias(편향값)

b. Learning the maximum range(Rmax1)

입력 값에 따른 최대 투하거리(Rmax1) 변화량을 확인한 결과 Rmax0과 유사하게 항공기 고도, 수평 자세, 마하수, 풍속에 따라 영향을 받는 것을 확인하였다[13].

$$\text{RMAX1} = \text{HAT} \times w1 + (\text{FPA}^2 \times w2 + \text{FPA} \times w3 + b\_fpa) \times (\text{HAT} \times w4 + \text{MACH} \times w5) + \text{MACH} \times w6 - \text{TGT\_ALT} \times w7 + \text{WIND\_ALT} \times (\text{HAT}^3 \times w8 + \text{HAT}^2 \times w8 + \text{HAT} \times w9 + b\_wind\_alt) - \text{WIND\_CROSS} \times (\text{HAT}^3 \times w10 + \text{HAT}^2 \times w11 + \text{HAT} \times w12 + b\_wind\_cross) + \text{bias}$$

c. Learning the maximum range(Rmax2)

입력 값에 따른 최대 투하거리(Rmax2)는 아래 수식을

통해 학습하였다.

$$\begin{aligned} RMAX2 = & HAT \times w1 + (FPA^2 \times w2 + FPA \times w3 + b_{fpa}) \times \\ & (HAT \times w4 + MACH \times w5) + MACH \times w6 - TGT\_ALT \times w7 + \\ & WIND\_ALT \times (HAT^3 \times w8 + HAT^2 \times w9 + HAT \times w10 + b_w \\ & ind\_alt) - WIND\_CROSS \times (HAT^3 \times w11 + HAT^2 \times w12 + \\ & HAT \times w13 + b_{wind\_cross}) + (IMP\_EL^2 \times w14 + IMP\_EL \times \\ & w15 + b_{impel}) + (IMP\_AZ^2 \times w16 + IMP\_AZ \times w17 + b_i \\ & mpaz) + bias \end{aligned}$$

d. Learning the minimum range(Rmin1)

입력값에 따른 최소 투하거리(Rmin1)은 아래 수식을 통해 학습하였다.

$$\begin{aligned} RMIN1 = & HAT \times w1 + (FPA^2 \times w2 + FPA \times w3 + b_{fpa}) \times \\ & (HAT \times w4 + MACH \times w5) + MACH \times w6 - TGT\_ALT \times w7 + \\ & WIND\_ALT^2 \times w8 + WIND\_ALT \times w9 + b_{wind\_alt} - WIND\_ \\ & CROSS^2 \times w10 - WIND\_CROSS \times w11 - b_{wind\_cross} + bi \\ & as \end{aligned}$$

## IV. Experiment Result

본 연구의 JDAM DLZ 알고리즘을 검증하기 위해 단위 시험 및 통합 시험을 수행하였으며, 항공기에 장입하여 조종사 비행시험을 완료하였다. 단위 시험은 개발자 환경에서 Software Unit이 정상적으로 작동하는지 검증하였다. 단위 시험이 완료된 후, 동일한 입력값에 대한 출력값을 비교하기 위해 텐서플로우를 통해 학습된 알고리즘과 AHB에서 출력된 FA-50 원본 데이터의 출력 값을 추출하여 비교하였다. 비교 결과 평균 오차율은 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Average Error Rate according to Output data

Item	Number of data	Average error(%)
RMAX0	17,380	5.22
RMAX1	17,381	7.07
RMAX2	165,850	9.05
RMIN1(low altitude)	4,514	5.08
RMIN1(medium altitude)	5,438	6.81
RMIN1(high altitude)	7,347	15.44
RMIN2(low altitude)	31,143	8.2
RMIN2(medium altitude)	50,827	8.58
RMIN2(high altitude)	83,864	17.88
TOF	177	4.32
Total	383,921	8.77

\* Error rate = (abs (Source data - Comparison data) ÷ Source data) × 100

대부분의 출력 값은 10%이내의 오차율을 나타냈으며, RMIN1 고고도와 RMIN2 고고도의 경우 10%를 초과하였

다. 이는 바람 속도가 200kts인 경우 또는 FPA가  $-45^\circ$ 인 경우에 대부분 집중되어 있었으며, 이러한 경우는 전투기의 임무 특성을 고려할 때 JDAM 임무 수행이 불가능한 상황이므로 수용하였다.

## V. Conclusion

본 연구에서는 TA-50 항공기를 대상으로 JDAM DLZ 알고리즘을 구현하였으며, 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 TA-50 항공기 임무컴퓨터에 FA-50 항공기 PVI와 유사하게 가상으로 JDAM을 훈련할 수 있는 기능을 구현하였으며, 조종사는 HUD를 통해 JDAM 관련 정보를 확인하고 훈련을 수행할 수 있다. 그러나 본 기능은 항공기 항전시스템과 연동되지 않으며, 가상으로만 훈련이 가능하다는 한계점이 있다. 추후 다른 항전 시스템 개조 능력을 확보한다면 임무컴퓨터와의 연동을 통해 실제 JDAM 훈련 기능을 구현할 수 있을 것이다.

둘째, FA-50 항공기에 구현된 JDAM DLZ는 정적 라이브러리 형태로 제공되어 TA-50 임무컴퓨터에 사용이 불가능하였다. 본 연구에서는 FA-50 임무컴퓨터에서 추출한 JDAM DLZ 입출력 데이터를 텐서플로우 라이브러리에 적용하여 DLZ 모델링을 시도하였다. 학습 결과 평균 오차율 8.77%의 JDAM DLZ 계산 알고리즘을 개발하였으며, 일부 데이터에서 10%를 초과하는 오차율을 나타내었다. 이는 고고도 환경에서 바람 속도가 200kts인 경우에 주로 발생하였으며 실제 대기 환경에서 발생 빈도가 흔하지 않은 경우로 판단하였다. 그러나 학습을 통해 개발된 알고리즘이 고고도 환경에서 바람의 영향성을 정확하게 모델링하지 못한 것으로 판단할 수 있다. 이러한 한계점은 두 가지 방안으로 개선될 수 있다. 첫째, 실제 대기 환경에서 측정된 고도별 바람 데이터를 고려하여 바람 속도를 제한하고, 제한치 이내에서 학습시킬 경우 실제 DLZ와 근접한 모델을 개발할 수 있을 것이다. 둘째, DLZ 각 구성요소의 텐서플로우 학습에 사용된 가설식을 고도에 따른 바람 속도에 대해 더욱 민감하게 영향 받도록 수정함으로써 오차율을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

본 기능은 공군의 개발 능력 범위 내에서 JDAM 훈련 기능을 제공할 수 있는 방안을 모색하고자 하였으며, 실제 JDAM 운용 기능과 최대한 유사하게 구현하였다. 훈련조종사는 실전에 배치되기 전 충분한 사전 연습을 통해 기량을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 국내 항공 산업 분야에서 빅데이터와 머신러닝 활용이 미비한 실정이나, 본 연구 결과를 바탕으로 항공 산



업 분야에 다양한 최신 기법을 적용할 수 있는 토대를 마련하였다고 할 수 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Chungwoon Univ. in 2020.

## REFERENCES

- [1] BIAN Hong-wei, "Analysis of Transfer Alignment Technique of Joint Direct Attack Munition (JDAM)", Journal of Projectiles. Rockets. Missiles and Guidance 4 Apr 2003.
- [2] EK You, CG Bae, and HJ Kim, "Implementation of OFP initialization function in IMDC for FA-50 aircraft", Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 24, No. 2, pp. 111-118, Feb 2019.
- [3] EK You, and HJ Kim, "Implementation of Vertigo Warning function for FA-50 aircraft", Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 24, No. 10, pp. 1-9, Oct 2019.
- [4] EK You, CG Bae, and HJ Kim, "A Study on Dynamic Launch Zone Algorithm Using Machine Learning", Journal of the Korea Society of Computer and Information Academic Presentation Papers, Vol. 28, No. 1, pp. 35-36, Jan 2020.
- [5] M Yeo, "Guided weapons: Stand off munitions-essential for RAAF combat operations", Asia-Pacific Defence Reporter Vol. 45, No. 1, pp. 22, 2002.
- [6] Strategy Page, Air Weapons: JDAM And Naval Mines, 2 Nov 2015.
- [7] HN Dai, H Wang, G Xu, J Wan, and M Imran, "Big data analytics for manufacturing internet of things: opportunities, challenges and enabling technologies", Enterprise Information Systems, pp. 1-25, 2019.
- [8] JS Park, JC Kim, and GR Sim, "Supporting Air Transport Policies Using Big Data Analysis", The Korea Transport Institute Basic Research Report, pp. 1-218, 2014.
- [9] JB Jane, and EN Ganesh, "Big Data and Internet of Things for Smart Data Analytics Using Machine Learning Techniques", In International conference on Computer Networks, Big data and IoT, pp. 213-223, Dec 2019.
- [10] JM Jo, "The effect of normalization pre-processing of big data on the performance of machine learning", The Journal of the Institute of Electronics and Communication Sciences, Vol. 14, No. 3, pp. 547-552, 2019.
- [11] A Geron, "Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems", O'Reilly Media, 2019.
- [12] J Zhang, X Tian, and Y Man, "Design of Real Time Communication Software Based on ReWorks Operating System", Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1486, pp. 1-7, 1 Apr 2020.
- [13] Boeing, Interface Control Document JDAM to host aircraft core interface, Mar 2009.

## Authors



Eun-Kyung You received the master's degree in department of Computer Engineering at Chungwoon University, Incheon, Korea, in 2018. She is responsible for T/TA/FA-50 aircraft mission computer programming at the Avionics Software Development Center, Republic of Korea Air Force.



Chan-Gyu Bae received in master's degree in department of computer science at Korea National Open University Graduate School, Korea, in 2009. He is responsible for T/TA/FA-50 aircraft mission computer

programming at the Avionics Software Development Center, Republic of Korea Air Force.



Hyeock-Jin Kim PhD degree in department of Computer Engineering, AJou University, Korea, in 1999. He is currently a professor in department of Computer Engineering, Chungwoon University. His research interests

include CG, CAGD, embedded system, web technology, etc.