

# 초계작전을 위한 공중급유기 적정 대수 산정 연구

박세훈<sup>†</sup> · 정의창 · 정제훈

## A Study on the Optimal Number of Air Tanker for Patrol Operations

Schoon Park<sup>†</sup> · Ui-Chang Chung · Je-Hoon Chung

### ABSTRACT

Air refueling is expected to increase the efficiency of the air force operations. This follows from the introduction of air refueling aircraft, which should to increase operational time by increasing the range and duration of fighter jets. Despite the effectiveness of the air refueling air crafts, the astronomical costs of adapting the air tankers call for careful discussions on whether to acquire any air craft and if so, how many. However there is no academic study on the subject to our knowledge. Thus, we use the ABM(Agent Based Modeling) technique to calculate the optimal number of air tankers during patrol operation. We have enhanced the reliability of the simulation by entering the specifications of the current aircraft operated by the Korean Air Force. As an optimization tool for determining the optimal number of counts, we use OptQuest built into the simulation tools and show that the optimal number of air tanker is 4.

**Key words** : Air Tanker, ABM, Defense Modeling and Simulation, AnyLogic, OptQuest

### 요약

공중급유기는 앞으로 공군 작전의 효율성을 높여줄 것으로 기대되고 있다. 공중급유기의 도입으로 전투기의 항속 거리 및 항속 시간이 증가되어 작전 가능 시간이 향상될 것이라 기대되기 때문이다. 그러나 공중급유기를 도입하는데 천문학적인 비용이 들기 때문에 신중한 논의가 필요하지만 아직은 그러한 논의가 부족한 것이 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ABM(Agent Based Modeling) 기법을 활용하여 초계작전 시 공중급유기의 적정 대수를 산정하고자 하였다. 시물레이션을 구현할 때 실제 대한민국 공군에서 운용하고 있는 항공기의 제원을 입력하여 시물레이션의 신뢰성을 높였다. 적정 대수를 산정하기 위한 최적화 툴로써 본 연구에서 사용한 시물레이션 툴에 내장되어 있는 OptQuest를 사용하였고 적정 대수 산정 결과는 4대이다.

**주요어** : 공중급유기, ABM, 국방M&S, AnyLogic, OptQuest

## 1. 서론

한국 공군은 공중급유기 4대를 도입하기로 결정하였고, 2018년 11월 12일 공중급유기 1호기를 인수하였으며 같은 해 12월부터 실전에 배치하였다. 공중급유기는 전투기의 항속거리와 항속시간을 늘려주어 작전시간을 향

상시킬 것으로 기대된다. 공군이 공중급유기 도입에 투자한 금액은 약 1조원으로 매우 크기 때문에 불필요한 재원의 낭비를 없애기 위해 적정 대수를 결정하는 것은 매우 중요한 일이다. 이렇게 고가의 무기체계들에 대한 적정 대수를 산정은 국방 분야의 큰 과제이며, 모델링과 시물레이션을 이용한 방법론은 합리적인 의사결정을 도와줄 수 있다. 따라서 국방부, 합동참모본부 및 각 군은 각종 무기체계 및 항공기 엔진 등 주요 구성품을 도입하기 전에 다양한 방법으로 분석 연구를 하여 적정 대수를 산정하고 있다. 본 연구에서는 한반도 내 초계작전을 중심으로 공중급유기의 적정 대수 산정 모델을 작성하여 시물

**Received:** 26 December 2018, **Revised:** 17 March 2019,  
**Accepted:** 19 March 2019

<sup>†</sup> **Corresponding Author:** Schoon Park  
E-mail: parksehoon1971@afa.ac.kr  
Republic of Korea Air Force Academy

레이션 하였다.

본 연구는 공중급유기의 적정 대수를 산정하기 위하여 ABM(Agent Based Modeling) 기법을 채택하였으며, ABM은 각각의 에이전트에 연구자가 모의 논리를 부여하여 활용하는 시뮬레이션 방법론이다. 모델링과 시뮬레이션에는 ABM 모델링 툴인 AnyLogic PLE 8.3.2를 사용하였다. 본 연구는 2장에서 연구와 관련된 기존 문헌을 조사하였으며, 연구의 주요 개념들인 ABM, GIS(Geographic Information System) 및 최적화의 개념을 정리하였다. 3장에서는 시뮬레이션을 위한 제약 조건 및 입력 자료들에 대하여 정리하였다. 4장에서는 본 연구의 모델에서 설계한 각 에이전트들에 대하여 설명하고, 시뮬레이션 과정에서 최적화 툴을 이용하여 공중급유기의 적정 대수를 산정하였다. 마지막으로 5장에서는 위 내용들에 대한 결론을 내리고 본 연구의 한계점과 시사점에 대해 설명하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 ABM(Agent Based Modeling)

ABM이란 사용자가 각각의 행위자(agent)에 특성, 행동 등을 부여하고 이 객체들이 특정상황 아래에서 스스로 움직이게 하는 시뮬레이션 기법이다. 행위자란 모델에서 영향을 미칠 수 있는 모든 요소를 의미한다(Bonabeau, 2002). ABM은 행위자와 행위자끼리 또는 행위자와 환경 사이의 상호작용이 만들어 내는 현상들을 분석할 수 있으며, 이를 통해 특정 사회 현상이 발생한 결과와 과정을 모두 이해할 수 있다(Macal and North, 2005). 또한 ABM 기법은 수학적 기반이나 방정식 기반 모델 같이 방법론적 엄격성이 요구되는 방식이기 때문에 사회과학 연구 기준을 충분히 만족하고 있다(Kim, 2015).

ABM 기법을 활용한 군사 분야 연구로는 Ilanchinski(2004)이 가상전쟁 내 전투상황 연구에 ABM 기법을 사용하였고, Cioppa et al.(2004)은 ABM 기법의 군사 분야 적용방법에 대하여 연구하였다. Lee and Hong(2007)는 지휘통제 분야에 대한 ABM 기법의 활용방안을 연구하였다. Shin et al.(2012)은 네트워크 중심전에서 작전하는 전투기 부대효과 분석을 위하여 ABM 기법을 사용하였고, Ham et al.(2012)은 지상 무기체계 교전 모의를 위하여 ABM 기법을 사용하였다. Lee et al.(2015)은 무인지상차량 운용 성능과 전투 효과의 관련성을 연구하였으며, 탐지 및 타격 확률과 같은 변수들을 입력하여 시뮬레이션 상황을 구현하였다. Onggo and Karatas(2016)는 ABM

기법을 활용하여 해상 탐색 시뮬레이션을 만들었고 무기체계의 속력 및 탐지율 성능에 따라 결과를 확인하는 연구를 하였다. Park et al.(2018)은 ABM 기법을 이용하여 공군 공중 수송의 최적화 경로를 연구하여 최적화 문제 해결에 이용하였고, Lee et al.(2018)은 지형을 고려한 무인체계의 운용효과 분석을 위하여 ABM을 사용하였다.

비군사 분야의 연구로는 Kim(2010)이 높은 복잡성을 갖고 있는 물류 시스템을 ABM기법을 이용하여 보다 단순하게 만들었고 이를 통해 물류 시스템의 창발성을 파악하였다. Ha et al.(2014)은 화재탈출 상황을 가정하여 인간 에이전트와 시스템 간의 상호작용을 연구하여 보다 현실적인 시뮬레이션을 만들었다. Kim et al.(2011)은 국내 중형 고급 승용차 제품 시장에서 경쟁 제품들의 확산 예측을 위한 환경조건을 도출하기 위한 민감도 분석에 ABM 기법을 이용하였다.

### 2.2 적정 대수 산정 관련 연구

기존의 적정 대수 산정 연구들은 대부분 전투기와 같은 고가의 무기체계 완성장비 및 구성품 등에 대하여 다양한 분석 기법이 이용되었다. Lim(2009)은 대기행렬을 이용하여 무인항공기 피격 확률과 운용시간에 대하여 연구 하였으며, Son(2012)은 마코프 체인을 이용하여 항공기의 적정 대수를 계산하였다. Park(1996)은 선형계획법을 이용하여 공대지 임무를 위한 항공기의 소요를 계산하였으며, Song(2004)은 목표계획법을 이용하여 근접항공지원을 위한 최적할당 모형을 제시하였다. Kim and Choi(2000)는 K-1 전차 수리부속품에 대한 소요산정 모델을 제시하였고, Kim and Lee(2014)는 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 기법을 적용한 군용 항공기 소요 산정 모형을 연구하였으며, Jeon et al.(2017)은 이산사건 시뮬레이션 기법을 이용하여 항공기 유형을 고려한 최적 예비엔진 및 모듈 소요를 산정하였다.

기존의 연구들은 무기체계의 적정 대수를 산정하기 위하여 대기행렬, 마코프 체인, 최적화, 이산사건 및 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 기법 등 다양한 기법들을 이용하였으며, 특히 도입 및 유지보수에 막대한 비용이 들어가는 사업에 대한 소요 산정 연구가 많았다. 각 기법들은 모두 장단점이 있기 때문에 무기체계의 적정 대수 산정에 크고 작은 도움을 주었지만, 최근 들어 증가하고 있는 ABM 기법을 사용한 연구도 다른 기법들과 마찬가지로 적정 대수 산정 연구에 적합하며, ABM 기법의 특성 상 에이전트로 정의한 각각의 개체가 보여주는 행태를 관찰할 수 있어서 연구 대상을 보다 세밀하게 관찰할 수 있는

장점이 있다.

### 3. 시뮬레이션 모델

#### 3.1 연구개요

본 연구는 공중급유기의 적정 대수를 산정을 위한 시뮬레이션 모델을 구현하기 위하여 항공기 제원, SFC(비연료 소모율), 작전경로 및 기지 좌표 등의 자료들을 입력하였다. 하지만 실제 환경과 완전히 동일하게 시뮬레이션을 구현하는 것은 어려움이 따르기 때문에 다음과 같은 가정 사항을 설정하였다. 첫 번째로 전투기의 작전을 초계작전으로만 한정하였다. 초계작전이란 일정한 선회 경로를 따라 상공에서 선회하여 적국이 어떠한 행동을 하는지 혹은 공격 조짐이 있는지를 감시하는 작전이다. 공군에는 공대공 작전, 근접항공 지원 작전 등 다양한 작전 형태가 있지만 모든 작전을 모델로 구현하는 것은 매우 복잡하다. 초계작전으로 한정하는 이유는 전시 상황 시 공군 전투기가 수행하는 주요 작전 중 하나이기 때문이다. 두 번째로 공중급유기는 동해와 서해에서 각각 1대씩 상공을 선회하며 작전을 수행하는 것으로 제한하였다. 이는 공중급유기가 작전을 수행할 때 내륙에서의 항적을 방해하지 않기 위함이다. 마지막으로 전투기의 공중급유 패턴과 편대 내 전투기 수를 제한하였다. 전투기는 연료가 일정 수준 이하로 떨어지면 공중급유기에 접근하여 공중급유를 받고 재차 연료가 고갈될 때에는 기지로 복귀하도록 설정하였다. 이때 전투기들은 3개의 작전공역에서 임무를 하며 하나의 작전공역에서 6대가 활동하는 것으로 설정하였다.

#### 3.2 입력 자료

##### 3.2.1 항공기 제원

본 연구의 모델에서 사용하는 공중급유기는 한국 공군 도입 기종인 Airbus사의 A330-MRTT로 선정하였으며, 전투기는 한국 공군에서 현재 주력으로 운용하는 전력인 Lockheed Martin사의 F-16을 선정하였다. Table 1은 두 기종의 제원이며, 공중급유기 급유 속도는 단위를 통일하기 위하여 2,407.52L/min으로 환산하였다.

##### 3.2.2 SFC(Specific Fuel Consumption)

항공기 시뮬레이션을 위한 제원 중 SFC(Specific Fuel Consumption)이란 내연기관의 연료 소모율을 비교하기 위한 것으로 추력 1단위당 1시간 동안 소비하는 연료량

을 의미한다. 예를 들어 SFC가 2라면 1lb의 추력을 내기 위해서 한 시간 동안 2lb의 연료를 소비함을 의미한다. Table 2는 각 항공기의 엔진 제원을 나타낸 표이다.

Table 1. Fact Sheet of A330-MRTT and F-16

A330-MRTT*	Manufacturer	Airbus
	Weight	125,000kg
	SFC	0.45lb/lb,hr
	Fuel Capacity	111,000kg
	Engine	Rolls-Royce Trent 772B
	Fuel Flow Rate	Max. 1,200 Gallon/min
F-16**	Manufacturer	Lockheed Martin
	Weight	8,936kg
	SFC	0.735lb/lbf,hr
	Fuel Capacity	5,443kg (with two external tanks)
	Engine	Pratt and Whitney F100-PW-200

\* Airbus <https://www.airbus.com/defence/a330mrtt.html>

\*\* USAF <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104505/f-16-fighting-falcon/>

Table 2. Engine of A330-MRTT and F-16

A330-MRTT*	Manufacturer	Rolls-Royce
	Model No	Trent 772B
	SFC	0.45lb/lbf,hr
	Thrust	72,000lb
F-16**	Manufacturer	Pratt and Whitney
	Model No	F100-PW-200
	SFC	0.735lb/lbf,hr(dry) 2.100lb/lbf,hr(wet)
	Thrust	14,670lb(dry)/23,830lb(wet)

\* <http://www.jet-engine.net/civtfspec.html>

\*\* <http://www.jet-engine.net/miltfspec.html>

본 연구에서 각 항공기는 최대 추력의 70%만큼만 사용한다고 가정하였으며, 이에 따라 A330-MRTT과 F-16의 추력을 각각 약 50,400lb, 약 10,269lb으로 설정하였다. 전투기의 경우 이륙 시 더 큰 추력이 필요한데, 이륙 시 After Burner를 사용한 최대 추력이 23,830lb의 70%를 사용한다고 가정하여, 약 16,681lb으로 가정하였다. 이때 각 항공기의 SFC 단위를 lb에서 kg으로 환산(1lb = 0.4535kg)한 값은 다음 Table 3과 같으며, 각각의 SFC와

추력을 이용하여 해당 추력을 낼 때 시간당 소비하는 연료량을 산출하면 Table 4와 같다.

**Table 3.** SFC(Specific Fuel Consumption)

Aircraft	SFC(Specific Fuel Consumption)
A330-MRJT	0.2045kg/lbf.hr
F-16	0.333kg/lbf.hr(dry)/0.9523kg/lbf.hr(wet)

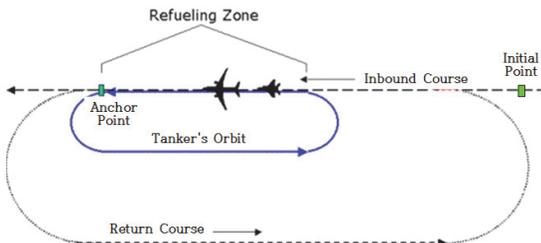
Table. 4의 값을 이용하여 각각의 항공기가 시간당 소비 연료량을 계산하고, 단위 통일을 위하여 항공유 밀도를 고려하여 분당 소모하는 연료의 양을 부피로 변환하여 모델에 입력하였다.

**Table 4.** Fuel Consume per Hour(Weight)

Aircraft	Fuel Consume per Hour
A330-MRJT	$0.2045 * 50,400 = 10,306 \text{kg/lbf.hr}$
F-16	$0.333 * 10,269 = 3,419 \text{kg/lbf.hr(dry)}$ $0.9523 * 16,681 = 15,885 \text{kg/lbf.hr(wet)}$

**3.2.3 공중급유기 작전 경로**

본 연구에서 공중급유기 작전경로는 작전 개념에 부합하도록 작전 경로를 설정하였다. 공중급유기 작전경로는 Fig. 1과 같이 직선과 곡선이 혼합된 타원 형태를 갖는다. 이때 공중급유를 받고자 하는 전투기들은 공중급유기 작전경로 내로 들어와 급유를 받는다. 공중급유기는 동해와 서해에서 각각 1대씩 운행한다.

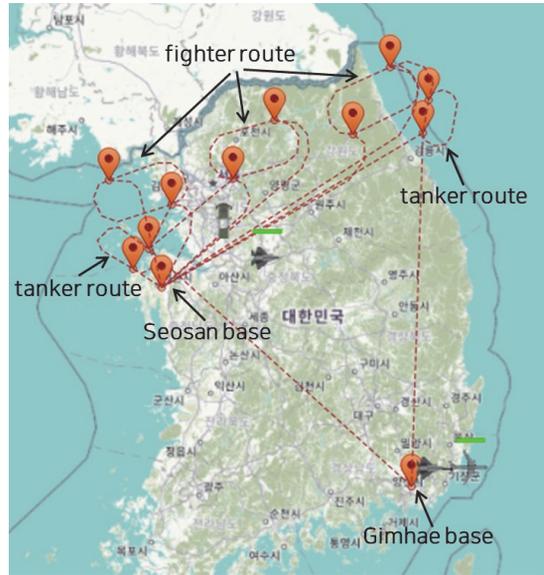


**Fig. 1.** Tanker Route  
(International Virtual Aviation Organization Data)

**3.2.4 기지 및 작전 경로 좌표**

본 연구에서 사용하는 좌표는 AnyLogic에서 제공하는 GIS map을 통하여 설정하였으며, GIS(Geographic Information System)는 지형과 관련된 정보의 분석, 입력, 출력을 모두 포함하는 시스템을 의미한다(Park et al.,

2010). 본 모델에서는 Fig. 2와 같이 항공기의 작전경로와 기지 좌표를 설정하였으며, Table 5와 같다.



**Fig. 2.** Coordinates of Base & Operation Positions

**Table 5.** Coordinate of Base & Operation Route

Node	Coordinates		Node	Coordinates	
	Lat.	Lon.		Lat.	Lon.
Gimhae Base	35.23	128.89	Fighter Node5	37.95	128.33
Seosan Base	36.78	126.49	Fighter Node6	38.45	128.69
Fighter Node1	37.60	125.97	Tanker Node1	36.92	126.21
Fighter Node2	37.41	126.58	Tanker Node2	37.07	123.37
Fighter Node3	37.61	127.18	Tanker Node3	37.95	128.99
Fighter Node4	38.05	127.58	Tanker Node4	38.20	129.05

이때 서산기지과 김해기지 노드의 좌표는 보안상 해당 시점의 좌표로 대체하였다. 전투기 작전경로는 휴전선 인근에서 초계작전을 수행할 수 있는 경로로 설정하였고, 공중급유기 경로는 휴전선과 인접한 동해 및 서해 해상으로 설정하였다. 김해와 서산기지과 항공기 별 작전경로를 잇는 이동경로는 실제 항로가 아닌 임의의 직선경로

로 설정하였다.

### 3.3 에이전트

ABM의 에이전트들은 각각의 모의논리를 가지고 행동하며 시뮬레이션에서 중요한 역할을 한다. 본 모델의 에이전트는 첫째, 작전경로에서 선회하며 초계작전을 수행하며 공중급유를 받는 전투기(fighter), 둘째, 전투기에 공중급유를 지원하는 공중급유기(tanker), 셋째, 각 항공기의 연료량을 확인하고 각 기지에 출격 명령을 내리는 관제탑(tower), 마지막으로 전투기와 공중급유기를 출격시키는 기지(fighter/tanker base) 에이전트 등이 있다.

#### 3.3.1 공중급유기 에이전트(Tanker Agent)

공중급유기 에이전트는 지정한 작전경로를 선회하며 연료가 필요한 전투기에 급유를 지원하며, state chart는 Fig. 3과 같다. 에이전트는 임의의 시점에 state chart 안에서 반드시 하나의 상태(state)가 되며, 연료 고갈 혹은 출격명령 수신 등의 이벤트가 발생하면 상태가 전이(transition)된다. 에이전트는 기지에서 급유를 받고 대기하다가(readyToTakeoff) 관제탑의 비행 지시를 받으면 작전경로로 출발한다(MoveToTankerRoute). 이후 경로 상의 node1과 node2를 선회하다가 연료가 부족하면(fuelExhaust) 기지로 돌아간다(returnToBase). 이때 정비(maintenance) 상태에서 20%의 확률로 고장이 발생하면(failureState) 고장정비 이후에 급유(fueling) 상태로 전이되고, 고장이 발생하지 않으면(notFailureState) 비행 후 점검을 받은 후 급유를 받는다.

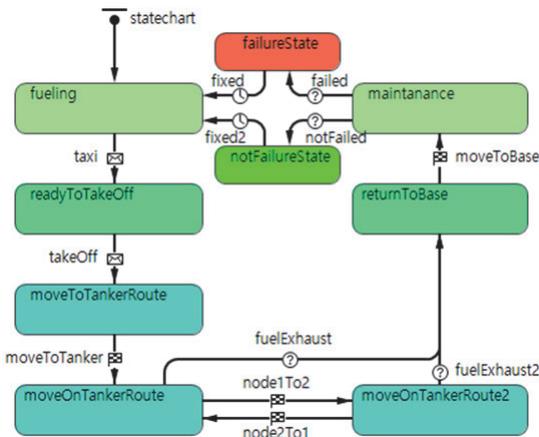


Fig. 3. State Chart of Tanker Agent

#### 3.3.2 전투기 에이전트(Fighter Agent)

전투기 에이전트의 state chart는 Fig. 4와 같으며, 정비 상태(maintenance)를 거쳐 급유(fueling)를 받은 후 출격 대기를 하다가 관제탑의 비행지시를 수신하면 작전경로로 비행을 시작한다(moveOnMissionRoute). 비행 중에 연료가 고갈되면 1차로 공중급유를 받으며, 2차로 고갈되면 기지로 복귀하여 급유를 받고(fueling) 대기한다(readyToTakeoff). 작전 중에는 작전경로 위의 node1과 node2를 지속적으로 선회하다가 연료가 고갈되면(fuelExhaust3, fuelExhaust4) 공중급유기 경로로 이동하여(moveOnTankerRoute) 공중급유기의 node3과 node2를 왕복하며 공중급유기와 랑데뷰하여 공중급유를 받는다(airRefueling). 급유를 받은 후에는 다시 전투기 작전경로로 돌아가며 다시 연료가 소진되면(fuelExhaust, fuelExhaust2) 조종사의 피로도를 고려하여 전투기 기지로 복귀한다(returnToBase). 그러나 이때 공중급유기 경로에 진입하였더라도 급유기의 연료가 충분치 못하거나 급유가 불가능한 경우 공중 급유를 받지 못한 전투기들은(fuelExhaust5, fuelExhaust6) 기지로 복귀한다.

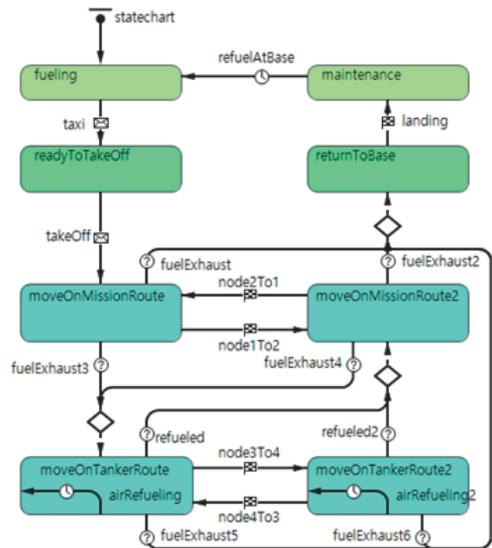


Fig. 4. State Chart of Fighter Agent

#### 3.3.3 관제탑 에이전트(Tower Agent)

관제탑 에이전트는 작전구역과 공중급유기와 전투기의 상태를 확인해 출격시키는 기능을 하며, state chart는 Fig. 5와 같다. 관제탑은 각 작전구역에 필요한 항공기의 수를 모니터링하여 기지에 대기 중인 항공기에 비행지시

를 한다. 전투기는 한 작전구역 당 평균 6대를 할당하며 공중급유기는 동해와 서해에 각각 1대씩 할당한다. 이후 지정된 수보다 작전 중인 수가 적을 때 각 항공기 기지에 항공기 출격을 지시하고 각 항공기에게 임무 공역을 할당한다(assignAircrafts).

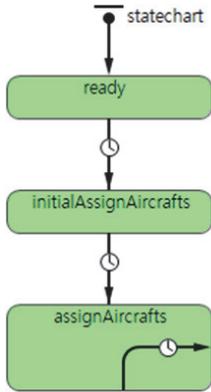


Fig. 5. State Chart of Tower Agent

3.3.4 기지 에이전트(Base Agent)

기지 에이전트의 state chart는 Fig. 6과 같으며, 전투기 기지(Fighter Base Agent)와 공중급유기 기지(Tanker Base Agent)가 있으며, 출격이 준비된 항공기에 대하여 관제탑 에이전트로부터 출격 신호를 받으면 활주로 가능 여부를 판단하여 항공기 이륙을 진행한다.

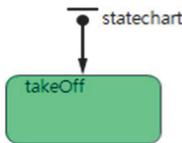


Fig. 6. State Chart of Base Agent

4. 시뮬레이션 기반의 적정 대수 산정

4.1 목적식

본 연구에서 공중급유기의 적정 대수를 산정하기 위한 성과지표로써 전투기 연료소모의 최소화를 설정하였다. 전투기 이·착륙 시에는 많은 연료가 소모된다. 따라서 한 전투기의 연료가 다 소모되고 또 다른 전투기가 다시 출격하는 것 보다는 하나의 전투기가 공중 급유를 받고 작전을 지속하는 것이 연료 소모를 줄이는데 효과적이다. 따라서 모든 작전구역에서 작전이 완전히 수행되고 있을 때 작전 중인 전투기들의 연료 소모량을 최소화하는 공

중급유기의 대수가 적정 공중급유기의 수량이다. 이때 관찰기간은 30일(1개월)이다. 이를 계산하기 위한 목적식은 다음과 같다.

$$Minimize Z = \sum_{d=1}^{30} F_d \tag{1}$$

$F_d$  = 전투기와 공중급유기의 일일 연료 소모량

4.2 시뮬레이션 기반의 최적화 결과

모델의 목적식을 이용하여 적정 대수를 산정하기 위하여, 공중급유기의 대수를 1대부터 10대까지 변화시켜 iteration을 10회 실시하였고, iteration당 난수로 구성된 변수들은 replication을 100회씩 실시하였다. 시뮬레이션 실행 중 공중급유기가 전투기에 공중급유를 지원하는 장면은 다음 Fig. 7과 같다. 그림에서 공중급유기와 전투기 위에 연료량이 표시되고 있다.



Fig. 7. Simulation Scene Screenshot

모델의 타당성 검사는 일일 연료소모량, 비행 소터 수와 같이 각 에이전트가 발생시키는 변수의 양을 모니터링하기 위하여 변수에 계수기를 연결하고 시뮬레이션 중에 변화되는 값을 Fig. 8과 같은 차트 형태로 표시하여 그 값이 현실적인 범위 내에 변동하는지 점검하였다.

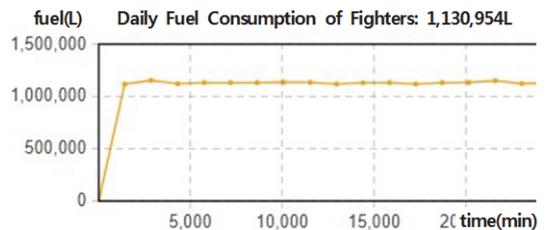


Fig. 8. Daily Fuel Consumption Trends of Fighters

본 연구에서는 공중급유기 적정 대수 산정을 위하여 AnyLogic PLE 8.3.2 내 최적화 툴인 OptQuest를 사용하였다. OptQuest는 복잡한 시스템의 일반 최적화 문제의 해를 구하는 상업용 소프트웨어로 다양한 최적화의 해법으로 널리 활용되고 있으며(Jeon et al., 2017), 목표를 설정하면 목표와 균형을 맞추고 관련 상충관계(trade-off)를 식별하여 최적해를 도출해줄 뿐만 아니라 시뮬레이션 툴과 연계하여 시뮬레이션 값을 이용하여 최적화를 수행할 수 있으며 ARENA 등 많은 모델링 툴과 연계할 수 있다.

Fig. 9는 OptQuest를 사용하여 최적해를 찾아가는 과정이며 총 10번의 iteration을 실행하는 과정에서 7번째 iteration에서 총 연료소모량이 최소가 되는 조건을 찾았다. 이 때 Fig. 10과 같이 공중급유기 5대를 운영할 때 약 68,550,775L의 최소연료로 1개월 동안 초계작전을 수행할 수 있다. 따라서 초계작전을 위한 공중급유기의 적정 대수는 5대로 판단할 수 있다.

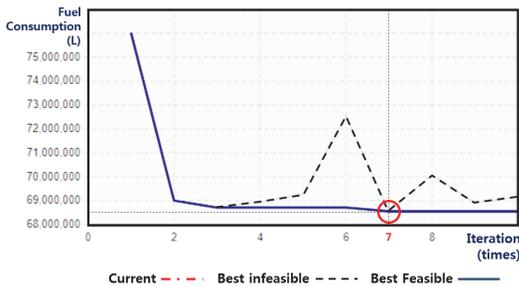


Fig. 9. Optimization Process of OptQuest Screenshot

	Current	Best
Iterations completed:	10	7
Replications:	100	100
Objective: ↓	69,148,361.81	68,550,775.05
Parameters	Copy best	
numOfTankers	9	5

Fig. 10. Result of Optimization Screenshot

## 5. 결론

본 연구는 ABM 모델링과 시뮬레이션 툴인 AnyLogic PLE 8.3.2를 사용하였고 입력 자료는 공군의 항공기 제원들을 사용하였다. 성과지표는 3개 공역에서 초계작전

을 수행하는 전투기와 공중급유기 연료 소모량의 최소화이며, 목적식에 대하여 최적화 툴인 OptQuest를 이용하여 공중급유기의 대수를 1 ~ 10까지 조정하고, 각 대수당 100의 replication을 주어 총 1,000번의 시뮬레이션 실행한 결과 적정 대수는 5대였으며, 이때 총 연료 소모량은 68,550,775L로 계산되었다.

본 연구의 시사점으로 무기체계의 적정 대수 산정 연구에 모델링과 시뮬레이션 기법 중 하나인 ABM 기법을 사용하여 최적해를 계산하는 방법을 제시하였다. 특히 초계작전을 수행하는 전투기와 공중급유기에 대하여 각각의 설계 특성을 반영하여 연료 소모량을 시뮬레이션 하였으며 각 항공기별 연료량과 연료 소모량들에 대하여 시간에 따른 변화를 관찰할 수 있었다. 특히 적정 대수를 찾기 위하여 최적화 툴을 이용하였는데, 이는 연구시간을 단축하는데 큰 도움을 주었다. 따라서 이러한 연구 방법은 고가의 무기체계 도입사업에 대한 과학적 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 산정한 공중급유기 적정 대수와 한국 공군이 도입 예정인 대수와의 비교하여 추가 도입 필요 대수를 계산할 수 있으며, 한반도 안보정세나 작전개념의 변화가 있을 경우 먼저 시뮬레이션을 통하여 적정 대수를 계산함으로써 장기적인 운용 계획에도 활용할 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 모델링의 가정 사항들로 인하여 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째, 다양한 공군 작전의 형태 중 초계작전만을 고려하였다. 둘째, F-16 단일 기종만을 고려하였다. 셋째, 연료의 소모량을 계산할 때 고도, 기상 등을 고려하지 못하였다. 넷째, 항공기의 실제 항로 대신 두 지점 사이의 직선경로를 항로로 설정하였다. 다섯째, 전투기 기지를 한 개만 설정하였다. 추후 본 연구의 한계점을 보완한 연구가 이루어진다면 보다 유의미한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

## References

Bonabequ, E. (2002). Agent-Based Modeling : Methods and Techniques for Simulating Human Systems, *Proceedings of the National Academy of Science* 99, Suppl 3, 7280-7287.

Ciopa, T. M., T. W. Lucas, S. M. Sanchez (2004). Military Applications of Agent-based Simulation, *Winter Simulation Conference*.

Ham, W. G., Jung, Y. H., Na, J. H., Park, S. C. (2012). A study on Agent Based Simulation System

- Architecture for the Engagement of Ground Weapon Systems, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 21(4), 81-90.
- Ha, S. H., Moses Busogi, Kim, N. H. (2014). Human-in-the-loop Agent Based Modeling and Simulation, *Proceeding of the Korea HCI Conference 2014*, 101-104.
- Ilanichinski, A. (2004). *Artificial War : Multiagent-Based Simulation of Combat*, World Scientific Publishers.
- Jeon T. B., Sohn, Y. H., Kim, K. D. (2017). Optimal Number of Spare Engines and Modules for Aircraft Types, *Journal of the Korea Society for the Simulation*, 26(3), 35-46.
- Kim, H. C., Choi, S. C. (2000). A Study of the Optimized Requirement Estimation of K-1 Tank Repair Parts, *Military Operations Research Society of Korea*, 26 (2), 39-54.
- Kim, J. H. (2010). A Proposition on Applying Agent-Based Model for Analyzing Logistics System, *Journal of the Society for Port Economics*, 26(3), 130-142.
- Kim, S. M., Lee, M. G. (2014). Military Aircrafts Proper Quantity Decision Model Using Simulation Analysis, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 23(4), 151-161.
- Kim, S. T., Kim, C. W. (2011). Consumer-Agent Based Sensitivity Analysis of Product Diffusion Dynamics for Domestic Automobile Market, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 20(2), 29-40.
- Kim, Y. J. (2015). Applications of Agent-Based Modeling in Political Science : A Critical Review, *Peace Studies*, 23(1), 443-476.
- Lee, D. J., Hong, Y. G. (2007). Agent Based Modeling & Simulation for Command and Control, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 16(3), 39-48.
- Lee, J. Y., Kim, J. S., Bae, S. M. Kim, J. M. (2015). Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness using AnyLogic Simulation, *Journal of Applied Reliability*, 15(2), 131-138.
- Lee, J. Y., Shin, S. W., Kim, C. M. (2018). Analysis of UGV Effectiveness Based in ABM(Agent Based simulation) and Communication Network Environments, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 27(3), 89-97.
- Lim, J. D. (2009). *Analysis of the Operational Effect of the UAV in the Army Corps Level Using D\_MAP*, Diss, Korea National Defense University.
- Macal, C. M. and M. J. North. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulations, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*.
- Onggo, B. S., Karatas, M. (2016). Test-driven simulation modeling : A case study using agent-based maritime search-operation simulation, *European Journal of Operational Research*, 254(2016), 517-531.
- Park, H. D. et al. (2010). *Principle and Application of GIS*, Sigam Press, Seoul.
- Park, J. G. (1996). *A Study on the Decision of Aircraft Demand for Air to Surface Mission*, Diss, Korea National Defense University.
- Park, S. H., Kim, T. H., Jung H. J., Choi, W. G. (2018). A study on Air Force Air Transport Route Optimization Using Agent-Based Modeling, *Korean Journal of Logistics*, 26(3), 59-76.
- Shin, G. H., Nam, H. C., Lee, Y. W., Lee, T. S. (2012). Communication Modeling of Simulation for Network Centric Warfare Environment, *Proceeding of 13<sup>th</sup> Communication and Computer Science Conference in ADD*, 22.
- Son, Y. S. (2012). *A Model to Evaluate the Aircraft Requirement with Discrete-Time Absorbing Markov Chain*, Diss, Korea National Defense University.
- Song, C. H. (2004). *A Study on the Optimal Allocation of Aircrafts to Closed Air Support By Goal Programming*, Diss, Korea National Defense University.
- Yoo, G. B. (2008). History of Geographic Information System in 50years, *Orbis Sapientiae*, 5, 156-171.



**박 세 훈** (parksehoon1971@afa.ac.kr)

2006 국방대학교 국방관리 석사  
2011 국방대학교 군사학 박사  
2017~ 공군사관학교 국방경영학과 조교수

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션, 수요예측



**정 의 창** (qwerty4176@naver.com)

2019 공군사관학교 국방경영학과 학사  
2019~ 공군교육사령부 학생장교

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션



**정 제 훈** (wpgns8852@gmail.com)

2019 공군사관학교 국방경영학과 학사  
2019~ 공군사관학교 조종학생

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션