

# Manned-Unmanned Teaming Air-to-Air Combat Tactic Development Using Longshot Unmanned Aerial Vehicle

Seunghoon Yoo\* · Myunghwan Park\* · Seongin Hwang\*\* · Hyeonju Seol\*\*\*†

\*Department of Computer Science, Korea Air Force Academy, Korea

\*\*Department of Electronics & Telecommunication Engineering, Korea Air Force Academy, Korea

\*\*\*School of Integrated National Security, Chungnam National University, Korea

## 롱샷 무인기를 활용한 유무인 협업 공대공 전술 개발

유승훈\* · 박명환\* · 황성인\*\* · 설현주\*\*\*†

\*공군사관학교 컴퓨터과학과

\*\*공군사관학교 전자통신공학과

\*\*\*충남대학교 국가안보융합학부

Manned-unmanned teaming can be a very promising air-to-air combat tactic since it can maximize the advantage of combining human insight with the robustness of the machine. The rapid advances in artificial intelligence and autonomous control technology will speed up the development of manned-unmanned teaming air-to-air combat system. In this paper, we introduce a manned-unmanned teaming air-to-air combat tactic which is composed of a manned aircraft and an UAV. In this tactic, a manned aircraft equipped with radar is functioning both as a sensor to detect the hostile aircraft and as a controller to direct the UAV to engage the hostile aircraft. The UAV equipped with missiles is functioning as an actor to engage the hostile aircraft. We also developed a combat scenario of executing this tactic where the manned-unmanned teaming is engaging a hostile aircraft. The hostile aircraft is equipped with both missiles and radar. To demonstrate the efficiency of the tactic, we run the simulation of the scenario of the tactic. Using the simulation, we found the optimal formation and maneuver for the manned-unmanned teaming where the manned-unmanned teaming can survive while the hostile aircraft is shot-downed. The result of this study can provide an insight to how manned aircraft can collaborate with UAV to carry out air-to-air combat missions.

**Keywords :** Air-to-air Combat Tactic, Manned-unmanned Teaming, Longshot Unmanned Aerial Vehicle

### 1. 서론

유무인 협업 공대공 전술은 문자 그대로 유인기와 무인기가 협업을 통해 공대공 임무를 수행하는 것을 의미하며, 현재 활용되고 있는 전투방식은 아니지만 무인기

의 발전에 발맞추어 가까운 미래에 도입될 것으로 예상된다. 전술 수준에서의 유무인 협업은 상황 판단이나 지휘통제 같은 고난이도 업무를 인간이 탑승한 유인기가 수행하고, 위험하면서 고강도의 신체적 스트레스를 요구하는 업무를 무인기가 수행하는 구조로, 인간과 기계의 장점을 극대화하여 다양한 전술의 수행 효율을 가장 많이 높여줄 것으로 기대되고 있다. 이에 따라, 유인기와 무인기의 협업을 활용한 공대공 전술에 관하여 여러 연구가 진행되어 왔다[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Received 5 August 2021; Finally Revised 14 September 2021;  
Accepted 24 September 2021

† Corresponding Author : hjseol@cnu.ac.kr

본 논문에서는 공대공 임무 중 하나인 ‘전투기 소탕’을 위해, 미 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)에서 개발하고 있는 롱샷(Longshot) UAV(Unmanned Aerial Vehicle)[1] 무인기를 활용한 유무인 협업 공대공 전술 개발 사례를 소개한다. 롱샷은 공대공 미사일을 장착하고 있는 무인기로, 미사일을 교전 지역까지 운반하고 유인기의 지시를 받아서 미사일을 발사하는 임무를 수행한다. 이런 무인기를 활용하면 유인기가 위험한 교전 지역까지 접근할 필요가 없게 되고, 보다 가까운 거리에서 무인기가 미사일을 발사함에 따라 명중률 향상과 에너지 소모 감소 등의 이점도 얻을 수 있다. 하지만, 유인기와 무인기가 팀을 이루어서 적기와 교전을 성공적으로 수행하기 위해서는 다양한 요소들이 고려되어야 한다. 아군 유인기와 무인기의 비행·통신·무장 성능, 상대해야 할 적기의 규모와 성능, 그리고 유인기와 무인기의 전투배치 및 기동방법 등이 그 고려 대상이라고 할 수 있다. 이에 더하여, 개발된 전술이 목표로 한 효과를 얻을 수 있는지에 대한 검증 역시 필요할 것이다.

이와 같은 점을 고려하여 본 논문에서는 한국 공군이 주력으로 운영하고 있는 4세대 유인 전투기(F-16급)와 롱샷 무인기를 활용해서 유무인 협업팀을 이루어서 적의 4세대 전투기(MIG-29급)에 대응하는 전술을 연구 대상으로 하였다. 이 전술에서 아군의 유인 전투기는 지휘 통제 임무를, 롱샷 무인기는 공격임무를 수행한다. 본 전술의 목표는 적기를 격추하면서 아군의 유인기와 무인기는 격추되지 않는 것인데, 이를 위해서 고려할 중요 요소는 유무인 협업팀의 전투배치와 기동방법이다. 이 두 가지를 결정하기 위하여, 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 아군의 유무인 협업팀은 생존하면서 적기는 격추할 수 있는 유무인 항공기의 배치 및 기동방법을 계산하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 유무인 협업 전술 관련 기존 연구 사례를 살펴보고, 본 논문에서 사용한 공대공 유무인 협업 전술에 대해서 소개한다. 제3장에서는 유무인 협업 전술을 컴퓨터로 모델링하고 시뮬레이션 한 과정을 소개한다. 그리고 제4장에서는 유무인 협업 전술을 시뮬레이션 한 결과를 설명하고, 제5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 배경지식

이 장에서는 유무인 협업 전술 관련 기존 연구 사례를 간략히 소개하고 본 논문의 연구 대상인 유무인 협업 공대공 전술을 서술한다.

### 2.1 유무인 협업 전술 관련 기존 연구사례

인공지능 기술과 무인기의 발전에 따라 가까운 장래에 무인기를 활용한 유무인 협업 전술이 가능할 것으로 기대되어 이에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

Seo et al.[4]은 공군의 SEAD(Suppression of Enemy Air Defenses, 적 방공망 제압) 임무용 유무인기 복합운영 전술을 제시하였다. SEAD 임무에서 유인기와 무인기에 적합한 세부 임무를 식별하고, 유인기, 정찰형 무인 전투기, 공격형 무인 전투기로 구성된 전술을 개발하였다.

Park et al.[3]은 유무인 협업전술에서 유인기 조종사가 무인기에게 음성으로 지시를 내리고, 무인기는 그 음성을 인식해서 명령을 수행할 수 있는 무인기 음성인식 시스템 인터페이스를 제안하였다.

Shin et al.[5]은 유무인 협동 전술로 적합한 3가지 작전(공세제공 작전, 항공차단 작전, 전투탐색구조 작전)과 작전별 무인기의 운용모드 3가지를 식별하였고, 운용모드별 무인기의 임무특성 및 요구능력 등을 제시하였다.

Lee[2]는 유무인 협업 전술을 사용하여 지상공격 임무를 수행할 경우, 확장되는 킬체인(kill chain)을 분석하였으며, 시뮬레이션을 수행하여, 유무인 협업 전술의 효율과 제한점에 대해서 분석하였다.

Yi[6]는 유무인 협업 전술에서 요구되는 유인기와 무인기 사이의 상호운용성을 논하였으며, 무인기의 역할과 장단점, 윤리적인 문제 등도 연구하였다.

Kim et al.[7]은 한 대의 KFX 유인기와 3대의 무인기로 유무인 전투기 편대를 구성하고, MIG-29 4대, MIG-21 4대로 구성된 적기와 공중전을 수행하는 시나리오를 COBRA 모델을 이용하여 실행하고 결과를 분석하였다.

Yang[8]은 유무인 협업 임무를 효율적으로 수행하기 위하여 요구되는 무인체(Unmanned Vehicle)의 자유도 수준을 평가하는 프레임워크를 제시하였다.

본 논문은 앞선 연구들과는 달리 전투기 소탕이라는 특정 공대공 임무에 대하여 유무인 협업팀이 수행해야 할 상세한 전술 절차를 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 해당 절차에 대한 검증을 제공한다는 점에서 차이가 있다.

### 2.2 유무인 협업 공대공 전술 소개

본 연구에서 다룰 공대공 전술은 아군의 4세대 전투기와 무인기가 협업하여 적군의 4세대 전투기를 보다 효율적으로 제압하는 전술이다. 전술에 대한 빠른 이해와 시뮬레이션을 위하여 전술에 참여하는 항공기는 아군 유인기, 아군 무인기, 적군 유인기 각각 1대로 가정하였고, 항공기 및 장비에 대한 세부 제원은 <Table 1>과 같다. <Table 1>의 내용에서 RCS는 레이더 반사 면적(Radar

Cross Section)을 의미하는 것으로서, 항공기의 RCS가 크면, 레이더에 탐지될 확률이 높아지고, RCS가 적으면 레이더에 탐지될 확률이 낮아진다. 예를 들어 스텔스 항공기인 F-35는 RCS가 0.005m<sup>2</sup> 정도이다[9, 10].

전술 시나리오의 초기 상태는 다음과 같다.

- 아군 유인기와 적군 유인기 사이 거리는 130km이며 서로 상대방을 향해 비행한다.
- 아군 무인기는 아군 유인기 전방에서 일정거리를 유지하며 같은 방향으로 비행한다.

시나리오가 시작되면, 각 항공기는 다음과 같은 이벤트를 수행한다.

<Table 1> The Specification of the Participants in the Air-to-Air Combat Tactic

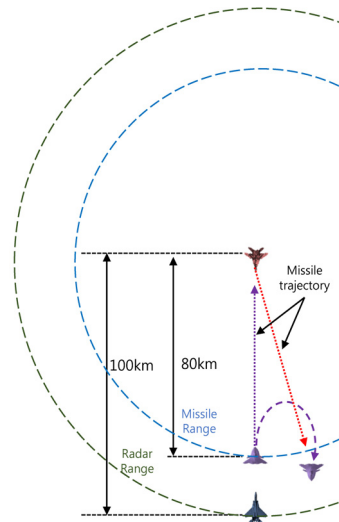
Aircraft type	Speed (Mach)	RCS (Radar Cross Section)	Equipments
Manned aircraft	0.9	5m <sup>2</sup>	Radar, Data-Link
UAV			Missile, Data-Link
Hostile manned aircraft			Radar, Missile
Missile type	Speed (Mach)	Effective Range	Active Homing Range
Air-to-air	1~4	80km	20km
Radar type			Detection Range
AESA (Active Electronically Scanned Array)			(RCS 5m <sup>2</sup> ) 100km

- 적군 유인기는 레이더를 탑재하고 있으므로 아군 유인기보다 전방에 위치해 있는 아군 무인기를 100km 거리에서 먼저 탐지할 수 있지만, 미사일의 유효 사거리를 충족하지 못하여 발사는 불가하다. 시간이 지나 적기와 아군 무인기 간 거리가 미사일 유효 사거리인 80km 되었을 때 미사일을 발사하고, 미사일은 자체추적거리(Active Homing)인 20km가 될 때까지 아군 무인기를 추적한다. 이 과정에서 아군 유인기가 적 유인기의 사정거리 안에 들어왔다면 아군 유인기에게 두 번째 미사일을 발사하고, 이쪽을 추적한다.
- 아군 유인기 역시 거리 100km에서 적기를 탐지할 수 있으며, 아군 무인기와 적기 사이 거리가 미사일 유효 사거리인 80km에 도달했을 때 데이터 링크를 통해 미사일 발사 명령을 전달한다. 미사일이 발사되면, 미사일 자체추적거리에 도달할 때까지 지속적으로

적군 유인기를 추적한다.

- 아군 무인기는 레이더가 없으므로 자체적으로 적기를 발견할 수는 없지만, 아군 유인기가 적기를 탐지한 뒤 적기와 의 거리가 80km 이내가 되면 미사일을 발사할 수 있다. 이 때 미사일을 위한 유도 추적은 아군 유인기가 수행하므로, 무인기는 생존을 위하여 발사 후 즉시 전장 반대 방향으로 최대 속도로 이탈한다.

이 시나리오를 시간 순으로 나열해보면 다음과 같이 정리할 수 있다: 적기가 아군 무인기 탐지 → 적기가 아군 무인기에 미사일 발사 및 추적 → 아군 유인기가 적기 탐지 → 아군 무인기가 적기에 미사일 발사 후 이탈 → 아군 유인기가 적기 추적 → 적기가 아군 유인기에 미사일 발사 및 추적



<Figure 1> Overview of the Air-to-Air Combat Tactic

<Figure 1>은 전술 시나리오의 개략적인 상황을 보여준다. 전술 시나리오는 적기나 아군 유인기가 격추되는 시점에서 종료되며, 효율적인 전술 수행 성공 여부는 적기 및 아군의 격추여부로 판정한다. 아군 미사일 발사가 시간적으로는 적기의 미사일 발사보다 늦으나, 적 미사일이 자체추적거리에 도달하기 전에 적기를 격추하게 되면, 적 미사일은 유도 정보를 받지 못하여 표적을 추적할 수 없으므로 아군 유인기와 무인기 모두 생존할 수 있다. 따라서 아군 무인기의 전장 이탈 방법이 전술 계획 및 수행에 있어서 중요한 고려 요소라고 할 수 있다. 또 하나의 중요 요소는 아군 유인기와 무인기 사이의 거리이다. 무인기가 유인기보다 적정한 거리에서 앞서 나간다면 적기에 발견되는 시점과 자신의 미사일 발사 시점의 간극을 줄일 수 있고 이는 빠른 적기 격추에 따른 생존 가능성 증대로 이어진다. 만약 유인기와 무인기의 거리

가 지나치게 가깝다면 적기에 대한 무인기의 미사일 발사시점이 늦어지게 되므로 적기가 발사한 미사일에 피격될 가능성이 커진다. 따라서, 전술적인 측면에서는 유인기와 무인기가 측면으로 나란히 배치되어 있는 것보다는 적당한 거리를 두고 전후 일렬로 배치되어 있는 것이 유리하다고 할 수 있다. 이러한 전후 배치 전술에서 전방에 위치한 항공기는 적의 미사일에 격추될 가능성이 높기 때문에 유인기 편대로는 전술 수행의 위험 부담을 고려해야 했으나, 전방에 무인기를 배치시킬 수 있는 유무인 협업 전술에서는 이러한 부담 없이 해당 전술을 사용할 수 있다.

본 전술에서 무인기의 전장이탈 방법과 유무인기간의 거리 요소들을 고려한 최적의 전술구사 방안을 도출하기 위해 컴퓨터로 시뮬레이션 하는 과정을 제3장과 제4장에서 서술한다.

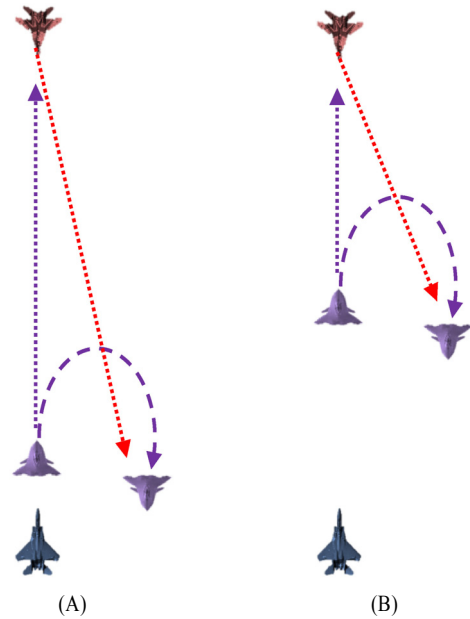
### 3. 전술 모델링 및 시뮬레이션

이 장에서는 위에서 소개한 유무인 협업 공대공 전술을 모델링하고 시뮬레이션 하는 과정을 소개한다.

#### 3.1 전술 수행을 위한 고려 요소

앞서 언급하였듯이, 본 논문에서 제시하는 공대공 유무인 협업 전술의 목표는 적기를 격추하면서 아군은 피해를 입지 않는 것이다. 이를 위한 전술 설계 과정에서 고려해야 하는 요소는 다음과 같다.

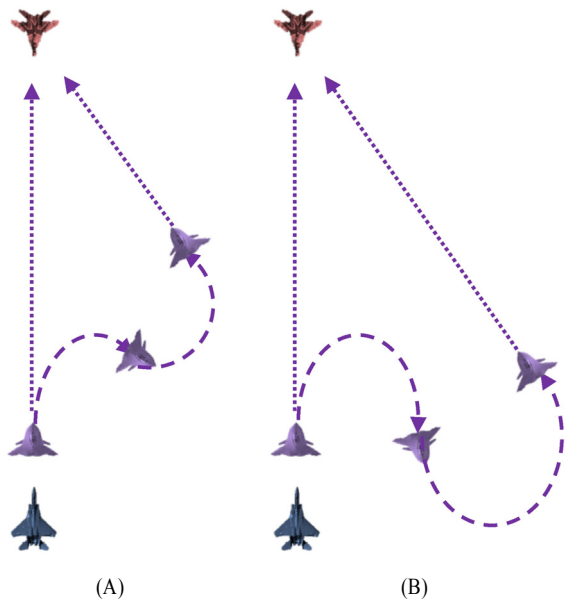
첫째, 유인기와 무인기 사이의 거리이다. 이 거리는 무인기가 발사한 미사일의 적기 도달 여부 및 적기가 발사한 미사일의 아군기 도달 여부를 결정하는 요인이 된다. <Figure 2A>는 유인기와 무인기의 거리가 너무 가까울 때의 상황을 보여준다. 이 경우, 무인기는 미사일을 발사한 후에 전장을 이탈하는 시간을 더 확보할 수 있기 때문에 무인기의 생존성은 증가한다. 그러나 적기가 격추되기 전에 아군 유인기를 발견하면 유인기에도 미사일을 발사할 것이고, 유인기와 무인기가 모두 격추될 수도 있다. <Figure 2B>는 유인기와 무인기의 거리가 너무 먼 경우 발생하는 문제점을 보여준다. 무인기가 적기에 미사일을 발사한 후에 전장이탈을 시도하지만, 적기와 너무 가까이 있기 때문에, 적기가 격추되어도 자체추적 모드로 전환한 적기의 미사일에 의해 무인기가 격추당한다. 위 두 상황을 고려할 때, 유인기와 무인기 사이의 거리는 무인기가 유인기의 최대한 전방에 위치해 있으면서도, 적의 미사일을 충분히 회피할 수 있는 거리가 되어야 한다.



<Figure 2> The Effect of the Distance between the Manned Aircraft and the UAV

둘째, 무인기가 적기를 향해 미사일을 발사한 이후, 적 미사일을 회피하기 위한 기동이다. <Figure 3A>는 무인기가 미사일을 발사한 이후 이탈 방향을 적게 변경한 기동을 보여준다. 이 경우에는 발사한 미사일이 적기의 회피 기동에 의해 빗나갔을 경우, 짧은 시간에 다시 적기 방향으로 선회해서 미사일을 재발사할 수 있는 이점이 있다. 하지만 적 미사일로부터 멀어지는 벡터가 적기 때문에 적 미사일에 의해 격추될 가능성도 역시 커진다. <Figure 3B>는 무인기가 미사일을 발사한 이후 적기 진행 방향에서 가장 반대되는 방향으로 비행하는 것이다. 이 경우에는 적기의 미사일이 무인기에 도달하기까지 시간이 늘어나고, 그 사이에 적기가 격추될 수 있으므로 무인기의 생존 확률이 높아진다. 하지만, 무인기의 첫 미사일이 적기를 격추하지 못했다면, 재교전을 위한 선회에 긴 시간이 걸리게 되고, 이 사이에 적기가 새로운 미사일을 발사할 수 있으므로 무인기의 생존 가능성이 떨어진다. 종합하면, 무인기는 적기의 미사일을 회피할 수 있으면서도 첫 미사일의 적기 격추 실패에 따른 재진입을 위하여 최소한의 방향 전환을 실시해야 한다.

셋째, 적 미사일의 속도이다. 미사일의 속도는 전술의 구성 요소라고 하기보다는 외부 요인에 가깝다고 할 수 있으나, 전술에 미치는 영향이 작지 않으므로 전술 고려 요소의 하나로 취급할 필요가 있다. 예를 들어 적 미사일의 속도가 상대적으로 빠를 경우, 무인기는 생존 가능성을 높이기 위해 느린 미사일의 경우보다 더 큰 회피 기동을 해야 할 것이다.



<Figure 3> The Effect of the Evasion Maneuver of the UAV

### 3.2 전술 모델링

앞서 식별한 전술 고려 요소들의 조합에 따른 전술 실행 결과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 계산하기 위하여 항공기, 미사일, 레이더 등 3가지 주요 개체를 선별하여 다음과 같이 프로그램으로 모델링하였다.

#### 3.2.1 항공기

항공기는 본 전술에서 주체적인 역할을 수행하는 개체로서 아군 유인기와 무인기, 적군 유인기 3가지로 구분할 수 있다. 객체지향 모델링 관점에서 항공기는 속도, 위치, 탑재 미사일, 탑재 레이더 등의 속성을 가지면서, 비행(이동, 회전), 탐지 확인, 미사일 발사 등의 함수를 보유한다. 항공기의 비행 함수 중 이동 함수는 상대편 탐지 유무를 기준으로 정해진 속도 및 시뮬레이션 시간에 따라 항공기의 위치를 갱신하며, 회전 함수는 앞서 가정한 전투기의 성능을 고려하여 0.1초당 1.3도씩 항공기의 방향을 변화시킨다.

앞서 언급한 시뮬레이션 제원에 따르면 아군 유인기는 레이더만 탑재하고 있고, 무인기는 미사일만 탑재하고 있으며 적기는 미사일과 레이더를 모두 탑재하고 있는데, 이들은 위와 같은 항공기 객체의 구현체로 모델링할 수 있다.

#### 3.2.2 미사일

미사일은 속도, 위치, 탑재 레이더, 자체 레이더 유도

거리, 항공기 유도 여부를 속성으로 가지면서, 비행 및 격추 판정 함수를 보유한다. 객체지향 관점에서 항공기와 미사일 모두 공중에서 움직인다는 점은 공통이므로 이 둘은 속도, 위치, 비행 관련 함수를 공통으로 갖는 공중 물체로 모델링할 수 있다.

미사일은 항공기에 탑재되어 함께 움직이다가 항공기 개체의 발사 함수에 의해 자체 속도로 표적을 향해 비행한다. 이후 자체 추적거리가 되기 전까지 항공기 개체와 메시지를 송수신하여 타겟을 추적하며, 해당 거리에 도달 시 자체적으로 표적을 추적한다. 만약, 해당 거리에 도달 전에 발사 항공기의 격추 등으로 유도가 종료되면 추적 능력을 상실하여 사라지는 것으로 처리 된다.

#### 3.2.3 레이더

레이더 개체는 항공기 개체와 미사일 개체에 탑재되며, 탐지거리와 탐지각도를 속성으로 가지면서 탐지 실행 함수를 보유한다. AESA 레이더이므로 전방 120도를 상시 탐지한다고 가정하고, 레이더를 탑재한 개체를 중심으로 해당 각도 내에 있는 다른 개체까지의 거리를 이용하여 개체의 탐지 여부를 결정한다.

### 3.3 시뮬레이션 구현

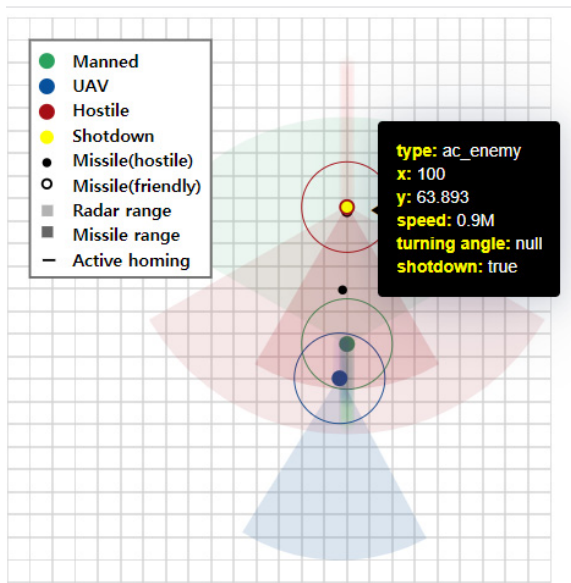
국방 시스템은 시뮬레이션 수준에 따라 공학급, 교전급, 임무급으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서 다루는 전술의 모델링은 교전급으로 분류할 수 있다. 교전급 시뮬레이션에서 항공기나 미사일의 비행역학적 특성을 고려하지 않고 속도나 선회율로만 표현하는 것은 시뮬레이션의 충실도(fidelity)에 영향을 줄 수 있지만, 유무인 협업 전술은 원거리 교전을 고려하기 때문에 각 개체의 비행역학적 특성의 비중을 낮게 취급할 수 있다. 수십 킬로미터의 거리에서 미사일을 발사하고 기동을 하기 때문에, 항공기나 미사일의 비행역학적 특성이 실제 시뮬레이션 결과에 미치는 영향이 미미하다고 할 수 있다. 또한, 각 개체의 속성을 속도나 선회율 등으로 단순하게 모델링하고 처리함으로써 시뮬레이션 구현 난이도가 낮아지고 실행 속도가 빠른 장점도 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 항공기, 미사일, 레이더의 비행역학적 특성은 고려하지 않으며 개체의 속도, 개체간의 거리, 그리고 질점(particle)으로서의 동작만 고려하도록 추상화하여 모델링 및 시뮬레이션하였다. 즉, 항공기나 미사일은 모두 질점으로 표현되고 속도 차이만 존재하며, 레이더는 질점 간의 거리를 기준으로 탐지 여부를 결정하게 된다.

실제 공중전은 3차원 공간에서 발생하지만, 본 연구에서는 이를 2차원 평면에서 분석하였다. 근거리 공중전을



고려할 경우에는 3차원 분석이 필요하겠지만, 본 연구의 전술은 양 진영의 항공기가 매우 먼 장거리에서 미사일을 통해서 교전을 수행하기 때문에, 2차원으로 분석하여도 3차원 분석과 큰 차이가 발생하지 않기 때문이다. 또한, 본 전술에서 다루는 아군 유인기와 적기가 탑재한 AESA 레이더는 상하 탐지각도가 ±45도 정도인데[11], 이 탐지 영역 안에 상대 항공기가 탐지되면 상대 항공기의 고도에 상관없이 미사일 발사가 가능하다. 따라서, 미사일 비행 궤적에 대해서는 2차원 분석만으로도 충분하다고 판단할 수 있다.



<Figure 4> Simulation in Visualization Mode

시뮬레이션 프로그램은 앞서 언급한 고려요소들을 파라미터로 하고, 파라미터에 따른 시뮬레이션 결과를 직접 확인할 수 있는 시각화 및 다수 파라미터의 값 변화에 대한 일괄 실행을 고려하여 웹 프로그램으로 구현하였다. 시뮬레이션은 시각화 모드와 일괄 실행 모드를 선택하여 실행할 수 있다. 시각화 모드에서는 <Figure 4>와 같이 각 개체의 궤적과 정보를 애니메이션으로 확인할 수 있으며, 일괄 실행 모드에서는 입력한 파라미터의 범주에 따른 시뮬레이션 결과를 표 형식으로 출력하여 결과 분석을 가능하게 한다.

## 4. 시뮬레이션 결과 분석

### 4.1 시뮬레이션 설정

시뮬레이션의 파라미터는 유인기와 무인기의 거리, 무인기의 회피 기동 경로, 미사일의 속도이다. 이 중 무인기의

회피 기동은 방향 변화량을 쉽게 파악할 수 있는 선회 각도로 표현하였다. 각 파라미터의 범위는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Range of Simulation Parameters

Parameters	Range
Distance between manned aircraft and UAV( $d$ )	$0 \leq d \leq 50$ , $d$ is a multiple of 5.
UAV's turning angle( $a$ )	$0 \leq a \leq 180$ , $a$ is a multiple of 5.
Missile speed( $s$ )	$1 \leq s \leq 4$ , $s$ is a natural number.

시뮬레이션을 통해 파악할 결과는 아군기와 적기의 격추 여부이다. 적기나 아군 유인기가 미사일에 피격되는 시점에서 시뮬레이션을 종료하고, 적기나 아군기의 미사일과 표적 간 거리를 기준으로 생존 여부를 결정한다. 예를 들어, 적기 미사일과 아군기의 거리가 자체추적 거리인 20km 이내라면 아군기가 격추되었다고 판정하고, 20km 이상이라면 적 미사일은 적기로부터 더 이상 유도를 받지 못하여 표적을 추적할 수 없으므로 아군기는 생존한다고 판정한다. 적기도 아군 무인기의 미사일에 동일하게 적용한다.

### 4.2 시뮬레이션 결과 분석

<Figure 5>는 미사일 속도가 마하 1일 때 시뮬레이션 결과의 일부를 테이블 형태로 나타낸 것이다. 테이블의 세로축은 무인기와 유인기의 거리이고, 가로축은 무인기의 선회각이다. 테이블 안의 숫자는 적기가 격추되어 미사일 유도가 불가능한 순간에 적기 미사일과 무인기 간의 거리를 나타낸다. 앞서 언급한 것처럼 20km를 기준으로 무인기의 생존 여부를 판정할 수 있는데, 이를 쉽게 구분할 수 있도록 격추는 주황색으로 생존은 파란색의 배경색으로 표시하였다. 예를 들어, 무인기와 유인기의 거리가 25km일 때 65도 회피 기동을 하면 적 미사일과 무인기의 거리가 19.76km로 무인기는 결국 격추당하지만, 동일 거리에서 70도 회피 기동을 하면 그 거리가 22.43km이므로 무인기는 생존할 수 있다.

<Figure 6>은 <Figure 5>의 표현 형식을 미사일 속도의 모든 파라미터(마하1~마하4)로 확대하여 차트로 나타낸 것이다. 가로축·세로축 의미는 동일하며 역시 동일한 색 조합으로 항공기의 생존여부를 나타내었다.

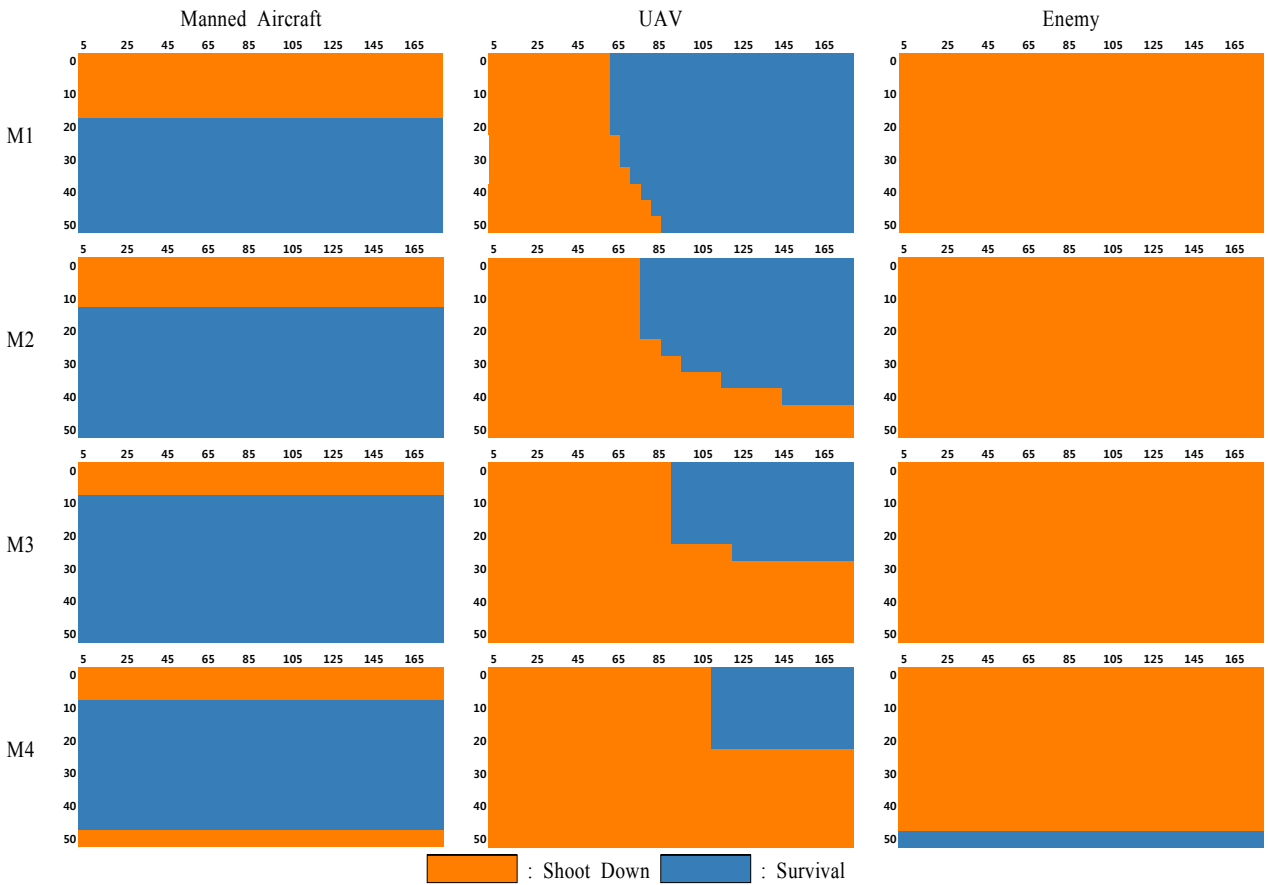
차트 전반에서 미사일 속도가 빨라질수록 아군기와 적기 구분 없이 생존을 의미하는 푸른색 영역이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 아군 유인기는 전술 특성상 가장 많은 생존 가능 영역을 가지고 있지만, 아군 무인기는 매우 제한된 생존 영역을 보유한다. 또한, 적기는 미사일 속도 마하1에서 마하3까지는 모두 격추당하나, 마하4에

서 일부구간 생존 가능하였다. 이러한 <Figure 6>의 결과를 종합적으로 보면, 유인기와 무인기가 모두 생존 가능하면서 적기를 격추할 수 있는 영역의 탐색이 곧 적절한 유무인기 간 거리와 무인기의 회피기동의 선택으로 연결될 것이라고 볼 수 있다.

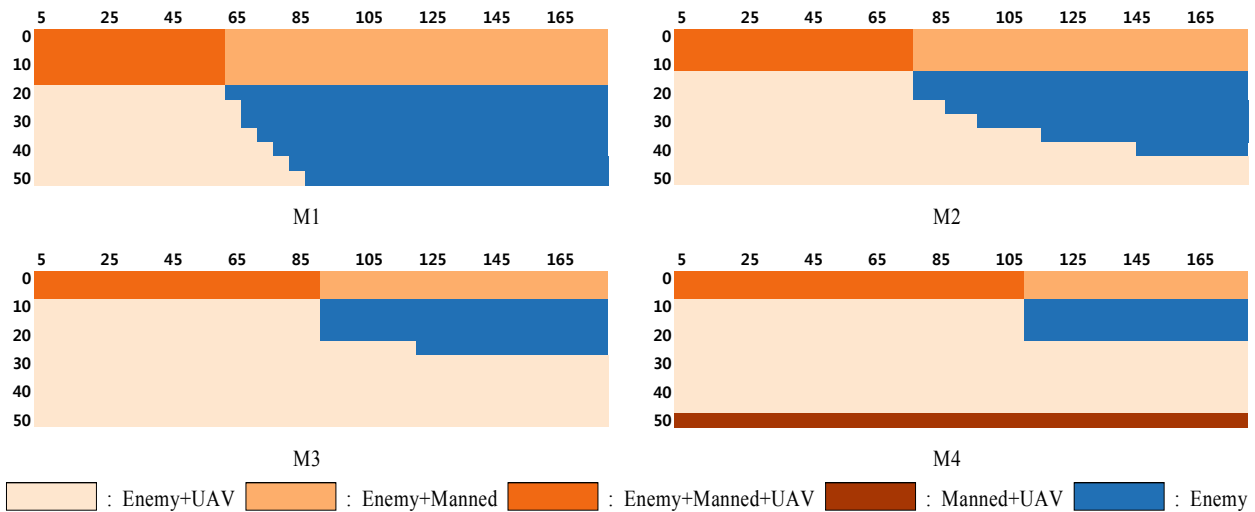
<Figure 7>은 미사일 속도에 따른 각 항공기들의 생존 여부를 종합적으로 표시하고 있다. 해당 그림에서 파란색은 아군기 모두가 생존하면서 적기를 격추하는 최선의 영역을 나타내고, 주황색 계열의 채도를 이용하여 아군에게 불리한 결과의 영역을 나타낸다. 세부적으로, 가장

Angle (a) \ Distance (d)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	2.09	2.42	2.97	3.74	4.75	5.99	7.48	9.20	11.17	13.35	15.73	18.29	20.99	23.84	26.80	29.84	32.91	36.04
5	2.11	2.44	2.99	3.76	4.77	6.01	7.50	9.21	11.18	13.36	15.74	18.30	21.00	23.85	26.80	29.84	32.91	36.04
10	2.07	2.39	2.94	3.72	4.73	5.98	7.48	9.20	11.17	13.36	15.75	18.31	21.01	23.86	26.82	29.86	32.93	36.06
15	2.09	2.41	2.97	3.76	4.77	6.03	7.54	9.27	11.25	13.45	15.84	18.40	21.11	23.96	26.93	29.97	33.04	36.17
20	2.11	2.44	3.00	3.80	4.83	6.10	7.62	9.36	11.35	13.49	15.89	18.47	21.18	24.04	27.01	30.04	33.12	36.24
25	1.99	2.11	2.64	3.40	4.37	5.57	7.00	8.64	10.51	12.58	14.82	17.21	19.76	22.43	25.19	28.03	30.89	33.80
30	1.97	1.97	2.35	3.06	3.91	5.04	6.39	7.92	9.67	11.60	13.69	15.92	18.29	20.77	23.34	25.96	28.61	31.31
35	1.99	1.97	2.00	2.66	3.53	4.59	5.83	7.27	8.90	10.69	12.57	14.63	16.83	19.12	21.48	23.89	26.35	28.83
40	2.00	1.97	2.00	2.27	3.07	4.07	5.22	6.56	8.07	9.72	11.51	13.40	15.41	17.51	19.68	21.88	24.12	26.39
45	1.98	2.00	2.00	1.97	2.70	3.55	4.62	5.86	7.24	8.76	10.39	12.12	13.96	15.87	17.83	19.83	21.86	23.91
50	1.99	1.99	1.97	1.97	2.25	3.10	4.09	5.16	6.42	7.80	9.28	10.84	12.50	14.22	15.99	17.78	19.61	21.44

<Figure 5> Cases of the Shooting-Down and Survival of the UAV with Missile Speed M1



<Figure 6> Cases of the Shooting-Down and Survival of the Friendly and Hostile Aircrafts



<Figure 7> The Distribution of Shooting-Down of the Friendly and Hostile Aircrafts

높은 체도의 주황색 영역은 아군기 모두가 격추당하면서 적기만 생존하는 최악의 결과이고, 가장 얇은 주황색은 적기와 무인기가 서로 격추하는, 상대적으로 바람직한 결과의 영역이다. 결론적으로, 본 논문에서 제시하는 유무인 협업 전술의 최선의 결과를 얻기 위해서는, 각 미사일 속도에 대하여 <Figure 7>의 파란색 영역에 해당하는 파라미터(유무인 항공기간의 거리, 무인기의 회피각도)를 선택할 수 있을 것이다.

<Table 3>은 미사일 속도에 따른 각 항공기들의 생존비율을 수치로 보여주고 있는데, 이는 미사일 속도별로 시행한 시뮬레이션들에서 각 항공기의 격추회수를 비율로 나타낸 것이다. 결과에서 전반적으로 유인기보다는 무인기가 격추될 확률이 높고, 무인기보다는 적기가 격추될 확률이 높다는 것을 알 수 있는데, 이는 본 논문에서 제시한 유무인 협업 전술의 효율성을 보여준다고 할 수 있다.

<Table 3> The Number of Shooting-Down of the Friendly and Hostile Aircrafts

Category	M1	M2	M3	M4
Manned	36.4% (144/396)	27.3% (108/396)	18.2% (72/396)	27.3% (108/396)
UAV	37.4% (148/396)	59.3% (235/396)	74.2% (294/396)	82.3% (326/396)
Enemy	100.0% (294/396)	100.0% (294/396)	100.0% (294/396)	90.9% (360/396)

## 5. 결론 및 향후 연구과제

유무인 협업 공대공 전술은 인간과 기계의 장점을 극

대화하는 전술로서, 무인기 제어와 인공지능 기술의 발전으로 가까운 미래에 구현 가능할 것으로 판단된다. 본 논문에서는 유인기와 롱샷 무인기를 활용해서 공중우세를 달성하는 유무인 협업 전술을 소개하였고, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이 전술에서 고려해야 하는 요소를 결정할 수 있는 과정과 결과에 대하여 살펴보았다.

본 논문에서 소개한 유무인 협업 전술은 비교적 단순한 전장 상황을 가정한 개념연구 수준의 전술이지만, 실제에 배치되지 않은 무인기를 대상으로 이를 최적으로 활용하기 위한 방안을 제시했다는 점에서 가치가 있다고 판단된다. 향후, 복잡한 전장 상황과 다양한 임무에서의 유무인 협업 전술에 대한 연구가 필요하고, 스텔스 항공기에 대한 전술도 복합적으로 고려될 필요가 있을 것이다.

## Acknowledgement

This work was funded by grants from Agency for Defense Development (ADD) of Republic of Korea (Grant UD200021JD)

## References

- [1] Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <https://www.darpa.mil/program/longshot>, <https://www.darpa.mil/news-events/2021-02-08>.
- [2] Lee, J.Y., Expanded kill chain analysis of manned-unmanned teaming for future strike operations, [Master Thesis], [Monterey], CA, Naval Postgraduate School, 2014.



- [3] Park, J.S., Yoon, J.S., and Jo, Y.W., Speech Recognition based UAV Mission Control from Manned Aerial Vehicle, *Proceedings of Spring Conference of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2018, Goseong, Korea.
- [4] Seo, W.I., Lee, H.M., Kim, J.H., Choi, K.Y., and Jee, C.K., A Methodology for Evaluation Mission Suitability of Manned-Unmanned Aircraft Teaming for SEAD Missions, *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2020, Vol. 48, No. 11, pp. 935-943.
- [5] Shin, B.H., Lee, S.H., Lee, H.K., and Lim, S.H., Cooperative Missions for a Number of Manned & Unmanned Aerial Vehicles, *Proceedings of Fall Conference of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2014, Jeju, Korea.
- [6] Yi, C.J., Manned-Unmanned Teaming—An Analysis of UAVs and Their Interoperability with Manned Aircraft, *Journal of the Singapore Armed Forces*, 2016, Vol. 42, No. 1, pp. 66-76.
- [7] Kim, J.G., Byun, Y.J., and Jo, B.J., Advancing the concept of air-to-air unmanned fighters using the COBRA model and exploring the development direction, *KIDA Defense Review*, 2016, No. 1625.
- [8] Yang, J.H., Kapolka, M., and Chung, T.H., Autonomy Balancing in a Manned-Unmanned Teaming (MUT) Swarm Attack, *Robot Intelligence Technology and Applications*, 2012, pp. 561-569.
- [9] Touzopoulos, P., Boviatisis, D., and Zikidis, K.C., Constructing a 3D model of a complex object from 2D images for the purpose of estimating its Radar Cross Section(RCS), *Journal of Computation & Modeling*, 2017, Vol. 7, pp. 15-28.
- [10] Zikidis, K., Skondras, A., and Tokas, C., Low Observable Principles, Stealth Aircraft and Anti-Stealth Technologies, *Journal of Computations & Modelling*, 2014, Vol. 4, No. 1, pp. 129-165.
- [11] Adamy, D., Introduction to Electronic Warfare Modeling, *Artech House*, 2001.

#### ORCID

Seunghoon Yoo | <https://orcid.org/0000-0002-1712-1162>

Myunghwan Park | <https://orcid.org/0000-0001-8674-4614>

Seongin Hwang | <https://orcid.org/0000-0002-4425-397X>

Hyeonju Seol | <https://orcid.org/0000-0001-6953-9766>