

자폭형 군집 드론의 전투모형에 관한 연구

오정택, 마정목*
국방대학교 국방과학학과

A Study on the Combat Model of Suicide Swarm Drone

Jeong Taek Oh, Jung Mok Ma*
Dept. of Military Science, Korea National Defense University

요약 본 연구의 목적은 자폭형 군집 드론에 적합한 전투모형을 수립하는 것이다. 미래의 혁신 무기체계인 자폭형 군집 드론은 '자폭'이라는 독특한 특성으로 인해 기존의 란체스터 전투모형을 적용할 수 없다. 그러므로, 본 연구에서는 자폭형 군집 드론의 전투 방법에 대하여 분석하였고, 란체스터 선형모형을 활용한 새로운 전투모형을 제시하였다. 새로운 전투모형을 바탕으로, 드론의 최적 소요량에 영향을 미치는 3가지 설계변수를 도출하였으며, 3가지 설계변수와 드론의 최적 소요량의 관계를 수리적으로 제시하였다. 도출된 3가지 설계변수는 향후 무기체계 도입 과정에서 작전운용성능의 일부로 제시될 수 있을 것이다. 자폭형 군집 드론은 아직 전력화되지 않은 미래의 무기체계로서 운용 데이터가 존재하지 않기 때문에 본 연구의 내용을 검증하지 못하는 것은 본 연구의 제한사항이다. 향후 무기체계가 전력화된다면 모형에 대한 검증이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract This research aimed to establish a combat model for suicide swarm drones. Suicide swarm drones, a future innovative weapon system, cannot be modeled under the existing Lanchester combat model due to their unique attacks. Therefore, this research analyzed the suicide swarm drone's combat method and established a new combat model for suicide swarm drones using the Lanchester combat linear model. Subsequently, three design variables were derived based on the new combat model by analyzing the optimal drone requirements. In addition, the relationship between these three design variables and the optimal drone requirements was mathematically presented. Also, the three derived design variables can be presented as part of the ROC (Required Operational Capability) of this weapon system while introducing this system in the future. Since suicide swarm drones are a future weapon system that has not yet been developed, this study is limited because the contents of the study cannot be verified due to no operating data on suicide swarm drones. However, it is expected that the new combat model can be verified when this weapon system is developed in the future.

Keywords : Suicide Swarm Drone, Lanchester Combat Model, Design Variable, Quantity of Demand, Optimal Quantity

1. 서론

1.1 연구 배경

세계는 지금 4차 산업혁명의 초입에 위치하고 있다.

과학기술과 지식·정보분야의 혁신이 산업 전반에서 가속화되고 있는 가운데, 안보분야 역시 혁신이 요구되고 있다. 전쟁의 역사를 뒤돌아보면 산업분야의 기술혁신을 바탕으로 전쟁의 패러다임을 바꾸는 첨단무기를 개발한

*Corresponding Author : Jung-Mok Ma(Korea National Defense Univ.)

email: jxm1023@gmail.co.kr

Received March 7, 2022

Accepted May 6, 2022

Revised April 11, 2022

Published May 31, 2022

국가가 전쟁의 승리를 쟁취해 왔으며, 기술혁신을 전장에 반영하지 못한 국가는 몰락했다.

4차 산업혁명으로 인한 전쟁의 변화를 가장 잘 나타내는 것 중 하나가 바로 '드론'의 등장이다. 최초에는 정찰 수단으로 활용되던 드론이 최근 4차 산업혁명의 첨단기술과 연계하여 작전의 효율성을 극대화하고, 미래 병력 부족 문제를 타개하기 위한 방책으로 고려되어 전장의 많은 부분을 대체하고 있다.

드론과 관련한 첨단기술 중 미래의 군사용 드론에 적용될 것으로 예상되는 주요 기술 중에 하나가 바로 '군집 로봇 기술'이다. 군집 로봇 시스템이란 다수의 로봇을 협동 제어를 통해 단일 로봇 이상의 성능을 내는 것을 목표로 하는 시스템이다[1]. 국방 분야에서 군집 로봇은 군사적 효과 외에 경제성 측면에서도 효용이 있다. 정밀유도 무기의 발달로 인해 전투기나 항공모함과 같은 고가의 플랫폼 무기체계가 단 한 발의 미사일에 파괴되는 위험성이 대두되었다. 결과적으로 가격이 저렴하며, 쉽게 대체 가능한 다수의 무기체계를 통해 기존의 플랫폼 무기체계의 역할을 대체할 수 있다면, 막대한 자원이 투입된 플랫폼 무기체계를 적의 미사일 한 발에 잃을 위험을 회피할 수 있으므로 경제성 측면에서 효율적이라는 인식을 하게 되었다. 이에 따라 미국과 중국 등 군사 강국을 중심으로 군집 무기체계에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 미국은 군집 드론 무기체계를 제3차 상쇄전략의 핵심으로 여기고 국방부 산하 방위고등연구계획국(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)과 전략능력국(SCO: Strategic Capabilities Office) 등을 중심으로 군집 드론 개발에 투자하고 있다[1].

군집 드론이 전장에 등장하게 된다면, 예상할 수 있는 형태 중의 하나가 바로 자폭형 군집 드론이다. 자폭형 드론은 이미 1980년대부터 이스라엘 등 군사 선진국을 중심으로 개발이 진행되어 왔고, 1990년대 초반 이스라엘에서 개발한 하피(Harpy)가 세계 최초의 자폭형 드론으로 기록되었다. 이후 무인기 소형화 기술이 발달함에 따라 자폭형 드론 역시 점차 소형화되었고, 현재는 세계 각국에서 소형화된 자폭형 드론을 도입하고 있다[2]. 북한 역시 지난 2018년 문재인 대통령 방북 당시 소형 드론을 활용한 군집 비행을 선보인 바가 있는데, 당시 이미 상당한 기술력을 보유하고 있었음을 고려한다면, 이를 군사적 목적으로 활용하였을 때 큰 위협이 될 것으로 예상된다. 특히, 북한이 보유한 생화학무기를 소형 군집 드론을 활용하여 투발할 경우 레이더를 이용하여 탐지하기 어려운 소형 무인기의 특성상 방어에 어려움이 있을 것으로

예상된다.

우리나라 역시 미래 전장에서의 드론의 중요성을 인식하고 있다. 이에 따라 2018년 지상작전사령부 예하에 드론부 전투단을 창설하였고, 향후에는 예하 부대로까지 드론부 부대 편성을 확대할 계획을 하고 있다. 또한, 2018년 드론부군사연구센터를 창설하고, 2021년에는 드론부전투발전센터로 개편하는 등 드론의 운용개념과 관련된 연구도 병행하고 있다. 이러한 노력으로 드론부 부대의 편성안[3]과 드론부를 활용한 전술개념 혁신방향[4] 등이 제시되었다. 하지만, 드론을 활용한 전투에 적용할 수 있는 전투모형에 관한 연구는 진행되지 않았다.

현재 위게임 시뮬레이션 모델의 기초로 활용되고 있는 란체스터 전투모형은 기본적으로 소총사격과 같은 직접사격 상황을 가정한 제곱모형(Square Model)과 포병사격과 같은 간접사격 상황을 가정한 선형모형(Linear Model)을 기초로 한다. 직접사격과 간접사격의 차이가 존재하지만, 두 모형 모두 원거리 교전 상황을 가정한다는 공통점이 있다. 하지만, 새롭게 등장한 무기체계의 자폭형 군집 드론의 경우 '자폭'이라는 특성상 원거리 교전 상황에 부합하지 않는다. 따라서 기존의 전투모형을 그대로 적용하기 어려우며, 이것이 자폭형 군집 드론에 부합하는 전투모형에 관한 연구가 필요한 이유다.

1.2 이론적 배경(란체스터 전투모형)

영국의 공학자였던 F.W Lanchester(1868~1946)는 1916년에 저술한 저서에서 제1차 세계대전의 공중전 결과를 분석하여 단일 무기체제로 구성된 양 군의 전투에서 전투력이 소모되는 관계를 미분방정식으로 제시하였고, 이것이 란체스터 전투모형이다. 복잡한 전투양상을 단순화된 미분방정식으로 표현했다는 장점으로 군사운영 분석(Military Operations Research)의 발전에 크게 이바지하였다[5].

대표적인 란체스터 전투모형에는 선형모형과 제곱모형이 있으며, 선형모형은 다시 제1 선형모형과 제2 선형모형으로 구분된다. 청군과 홍군이 전투를 하는 상황에서 시간에 따른 청군의 병력의 수가 $B(t)$, 홍군의 병력의 수가 $R(t)$ 이고, 양 군의 전투능력을 반영한 전투효율 계수가 각각 b 와 r 이라고 하자. 이러한 가정을 기초로 선형모형과 제곱모형을 설명하면 다음과 같다.

제1 선형모형은 청군과 홍군의 병력 손실이 상대방의 전투효율에만 영향을 받는 모형으로 현대전보다는 고대 검투사 간의 대결과 같은 1:1 전투 상황에 적합한 모형이다. 무기체계의 사정거리가 극단적으로 짧은 경우에 적

용할 수 있으며, 현대전에서는 대부분의 전투가 원거리 무기체계를 통해 이루어지기 때문에 제1 선형모형은 적합하지 않다. 제1 선형모형을 미분방정식으로 나타내면 Eq. (1), (2)와 같으며, 식을 통해 제1 선형모형에서 전투효율의 의미는 '단위 시간당 적 병력의 손실량'이라고 해석할 수 있다.

$$\frac{dB(t)}{dt} = -r \quad (1)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -b \quad (2)$$

제2 선형모형은 청군과 홍군의 병력 손실이 청군과 홍군의 병력 모두에 비례하는 모형으로 현대전에서는 포병 사격과 같은 간접사격을 통한 교전상황에 적합하다. 제2 선형모형을 미분방정식으로 나타내면 Eq. (3), (4)와 같다.

$$\frac{dB(t)}{dt} = -rR(t)B(t) \quad (3)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -bB(t)R(t) \quad (4)$$

제2 선형모형에서 전투효율 계수 b 의 의미는 Eq. (5)와 같다.

$$b = (\text{firing rate of one } B) \cdot (A_L/A_T) \quad (5)$$

- A_L : 청군(B)의 탄 한 발의 살상면적
- A_T : 홍군(R) 점령 지역의 면적

Eq. (5)에서 'firing rate'는 단위 시간당 발사량을 의미하며, ' A_L/A_T '는 점령면적 대비 살상면적의 비율을 의미한다. 따라서, 제2 선형모형에서의 전투효율 b 는 '청군(B) 1단위가 단위시간 동안 살상하는 홍군(R)의 비율'이라고 해석할 수 있다. 여기서 제2 선형모형의 바탕이 되는 한 가지 가정사항을 도출할 수 있는데, 제2 선형모형에서 전투효율을 상수로 적용하기 위해서는 병력이

전체 점령 지역 내에 균일하게 산개되어 분포되어 있는 것으로 가정해야 한다. 만약 점령 지역 내에 병력 밀도가 차이가 있다면, 청군(B)의 포탄 한 발의 살상면적인 A_L 내에 분포하는 홍군(R)의 숫자가 일정하지 않으므로, 전투효율 b 를 상수로 적용할 수 없기 때문이다.

제공모형은 상대방의 전투효율과 병력의 수에 따라 아군 병력의 수가 변화하는 모형으로, 제공모형을 미분방정식으로 나타내면 Eq. (6), (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dB(t)}{dt} = -rR(t) \quad (6)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -bB(t) \quad (7)$$

여기서 전투효율 계수 b 의 의미는 Eq. (8)과 같다.

$$b = (\text{firing rate of one } B) \times \text{Pr(a shot from } B \text{ kills an } R) \quad (8)$$

Eq. (8)에서 'firing rate'은 Eq. (5)와 마찬가지로 단위시간당 발사량을 의미하며, 'Pr(a shot from B kills an R)'은 청군(B)으로부터 발사된 한 발의 탄이 홍군(R)을 살상할 확률이라고 해석할 수 있다. 따라서, 제공모형에서의 전투효율 b 는 '청군(B) 1단위가 단위시간 동안 살상하는 홍군(R)의 수'라고 해석할 수 있다. 제공모형 역시 식으로부터 한 가지 가정사항을 도출할 수 있는데, 청군(B)의 수가 홍군(R)의 수보다 많더라도, 유효병력 없이 전체 청군(B)이 전투에 참여하는 형태이므로, 제공모형에서는 다수의 공격자가 하나의 피공격자를 동시에 공격하는 것이 가능한 것으로 가정한다.

Table 1은 위에서 살펴본 3가지 모형에 차이점을 정리한 것이다. 각각의 모형에서 전투효율이 의미하는 바가 서로 다르며, 적용할 수 있는 조건 역시 다르므로 상황에 적합한 모형을 선택하는 것이 중요하다.

지금까지 살펴본 선형모형과 제공모형이 대표적인 란

Table 1. Comparison of each model

	Linear model		Square model
	The first linear model	The second linear model	
Equations	$\frac{dB(t)}{dt} = -r$ $\frac{dR(t)}{dt} = -b$	$\frac{dB(t)}{dt} = -rR(t)B(t)$ $\frac{dR(t)}{dt} = -bB(t)R(t)$	$\frac{dB(t)}{dt} = -rR(t)$ $\frac{dR(t)}{dt} = -bB(t)$
Battle condition	1:1 battle	artillery battle	rifle battle
Characteristic	head to head battle	indirect fire	direct fire
Winning condition (for B)	$\frac{B(0)}{R(0)} > \frac{r}{b}$		$\frac{B(0)}{R(0)} > \sqrt{\frac{r}{b}}$

체스터 전투모형이며, 대부분의 연구가 선형모형과 제곱모형을 응용·발전시키는 방향으로 이루어져 왔다. 다양한 병종이 혼합되어 제병협동전투를 수행하는 현대전의 특성을 반영하기 위해 선형모형과 제곱모형을 혼합한 혼합모형이 개발되었고, 아군 내부에서 발생한 폭발사고와 같이 아군의 규모가 클수록 피해가 커지는 로그형 모형 등이 개발되었다.

1.3 기존연구 고찰

란체스터 전투모형을 통해 효율적인 전투수행방법을 분석하는 연구는 과거부터 현재까지 꾸준히 이루어지고 있다. 적용되는 모형과 공격군과 방어군을 구성하는 부대의 수, 각 부대의 전투효율 등 다양한 조건에서 전투 목적을 달성하기 위한 최적의 병력(또는 화력) 할당을 다루는 문제가 주로 다루어졌다[6-9]. 나아가 부대의 이동 소요시간을 고려한 최적의 병력 지원 규모에 대한 문제가 다뤄지기도 하였다[10].

지금까지 설명한 연구들에서는 전투에 참여하는 양군의 피해량이 하나의 값으로 고정되어 있다는 특성을 가진다. 덕분에 간단하고 직관적으로 결과를 예측할 수 있다는 장점이 있지만, 동시에 전장의 불확실성을 반영하지 못하는 단점을 지닌다. 이러한 단점을 보완하기 위해 확률적 란체스터 모형이 등장하였으며, 이 중 대표적인 것이 마코프 체인을 활용하는 모형이다[11-13].

위와 같이 많은 연구에서 아군의 병력 손실 최소화를 위한 병력(또는 화력)할당 방안에 대해 다루었다. 그러나 병력 손실 최소화 외에 다른 조건을 부여한 경우도 존재하였는데, '비용'이라는 요소를 더하여 전투효율과 가격이 다른 두 무기체계로 구성된 공격군과 단일 무기체계로 구성된 방어군의 전투에서, 최소비용으로 방어군을 전멸시키기 위한 공격군의 무기체계 조합을 연구하였고[14], 다수의 공격군을 방어하는 방어군의 허용 가능한 최대 전투 피해를 고려한 병력할당 방안을 다루기도 하였다[15]. 이는 부대가 극심한 피해를 받으면 더 이상 전투가 불가능한 작전한계점에 도달한다는 현실적인 조건을 부여하였다고 볼 수 있다. 이 밖에 전투효율을 상수가 아닌 확률변수로 적용하여 전장의 불확실성을 반영하고자 하기도 하였으며[13], 독립적인 세 집단간의 전투를 묘사하여 다자간 대립상황에서의 전투를 반영하기도 하였다[16].

앞에서 기술한 바와 같이 란체스터 전투모형을 통해 부여된 조건과 목적에 맞는 최적의 병력할당 방안을 구하는 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 연구에서 활용

된 전투모형은 대부분 선형모형 또는 제곱모형이라는 공통점이 있다. 그러나, 자폭형 드론은 '자폭'이라는 기존의 무기체계가 갖지 않는 전투방식을 취하므로 기존의 전투모형을 그대로 적용할 수 있는가에 대한 의문이 존재한다. 따라서 자폭형 군집 드론에 적합한 전투모형에 관한 연구가 필요하다.

본 논문은 3개의 장으로 구성되어 있다. 제 1장에서는 연구 배경과 연구의 이론적 배경이 되는 란체스터 전투모형에 대해 설명한다. 제 2장에서는 자폭형 군집드론의 특성을 고려한 전투모형을 설정하고, 이를 바탕으로 드론의 최적 소요량과 설계변수를 도출하며, 수치적 분석을 통해 각각의 설계변수와 드론의 최적 소요량과의 관계를 분석하였다. 마지막 제 3장에서는 도출된 결과를 종합하여 결론을 내리고자 한다.

2. 본론

2.1 자폭형 군집 드론의 전투모형

2.1.1 전투상황 및 가정 설정

자폭형 군집 드론을 통해 적의 지상군 부대를 공격하는 상황을 가정하자. 드론이 적의 유효사거리 내에 진입하는 순간 적의 사격이 시작될 것이고, 이를 도식화하면 Fig. 1과 같다.

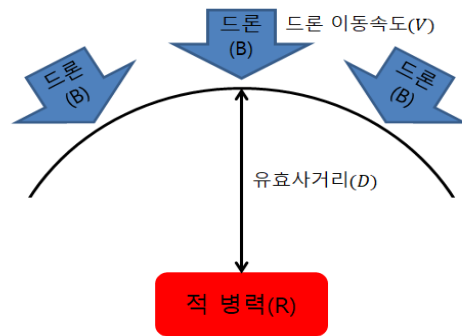


Fig. 1. Combat model of suicide swarm drones

전투는 2단계로 구분하여 생각할 수 있다. 1단계는 드론이 적의 유효사거리 내에 진입했을 때부터 적에게 도달하여 자폭 공격을 감행하기 전까지의 상황이며, 2단계는 드론이 적 병력에 도달하여 자폭 공격을 감행하는 상황이다.

적이 단일 무기체계로 무장하였고, 드론의 기종 역시

한 가지인 상황을 가정하고 모형에 필요한 각 기호를 정리하면 아래와 같다.

- $B(t)$: 시간 t 에서의 드론의 수
- $R(t)$: 시간 t 에서의 적 병력의 수
- $B(0)$: 전투에 투입된 드론의 수
- $R(0)$: 전투에 투입된 적 병력의 수
- r : 적 병력의 전투효율(선형모형의 정의에 따름)
- k : 드론 1기가 자폭 공격을 통해 살상하는 적 병력의 수(드론의 살상능력)
- D : 적 무기체계의 유효사거리
- V : 드론의 속력
- T : 총 교전시간 (D/V)

2.1.2 자폭형 군집 드론의 전투모형 설정

전투모형 설정에 앞서 제곱모형과 선형모형 중 어떤 모형이 적합한지를 따져보아야 한다. 본 연구에서는 군집 드론의 특성에 기인한 2가지 이유를 바탕으로 제2 선형모형을 채택하였는데, 그 이유는 다음과 같다.

첫 번째는 사격형태다. 군집드론의 경우 조준사격이 제한된다. 드론의 소형화 기술의 발달로 기체 무게가 수십 그램에 불과한 드론이 등장하였다. 실제 미국의 플리어 시스템즈에서 생산한 군사용 정찰 드론 ‘블랙호넷’은 무게가 불과 18g에 불과하며, 손바닥 면적보다 작은 크기를 가지고 있다. 이렇게 작은 드론을 조준사격하는 것은 불가능에 가깝다. 특히 표적이 지상이 아닌 공중에 있는 경우 조준사격은 더욱 어려울 것이다. 레이더를 이용한 유도무기 활용도 제한되는데, 크기가 곤충 또는 작은 새 정도밖에 되지 않기 때문에 레이더에 피탐되지 않으며, 만약 피탐되더라도 군집 드론을 격추하기 위해 유도 무기를 사용하는 것은 효율성이 극히 낮으므로 고려 대상이 될 수 없다. 따라서 적이 군집 드론에 대해 취할 수 있는 전투 행동은 대공 화망을 형성하여 대공사격을 하는 방법이 있을 것이다. 이러한 사격형태는 조준사격이라고 할 수 없으며, 일정 면적에 대한 사격이므로 선형모형에 적합한 간접사격이라고 할 수 있다.

두 번째는 병력의 분포형태다. 적 병력이 대공화망을 형성하여 대공사격을 하는 경우 군집 드론은 피격률을 낮추기 위해 특정 부분에 밀집되지 않도록 대형을 형성하는 것이 유리하다. 만약 드론의 부분적 밀도에 차이가 있다면 밀도가 가장 높은 구역부터 차례로 공격받을 것이므로 손실을 최소화하기 위해서는 드론의 밀도를 균일하게 하는 것이 최적의 전략이다. 이러한 균일한 병력 분

포형태는 1장에서 설명하였던 제2 선형모형의 적용 조건이다.

그러므로 자폭형 군집 드론에 적합한 전투모형은 제2 선형모형이다. 그러나, 자폭형 드론의 특성으로 인해 기본적인 제2 선형모형을 그대로 적용할 수는 없다. 기본적인 제2 선형모형에서는 쌍방의 병력 손실이 발생하지만, 자폭형 드론은 원거리 공격을 수행하지 않기 때문에 적의 유효사거리 내에 진입한 때부터 적 병력에 도달하기까지는 일방적인 병력 손실을 보게 된다. 이것을 수식으로 나타내면 Eq. (9)와 같다.

$$\frac{dB(t)}{dt} = -rR(0)B(t) \quad (9)$$

Eq. (9)를 B 와 t 에 관한 식으로 변수분리하면 Eq. (10)을 얻는다.

$$-\frac{dB(t)}{rR(0)B(t)} = dt \quad (10)$$

Eq. (10)의 양변을 적분하면 Eq. (11)과 같으며, 이를 정리하면 Eq. (12)를 얻을 수 있다.

$$-\frac{1}{rR(0)}\ln B(t) = t+c \quad (c\text{는 상수}) \quad (11)$$

$$\ln B(t) = -rR(0)(t+c) \quad (12)$$

Eq. (12)를 다시 $B(t)$ 에 대해 정리하면 Eq. (13)과 같다.

$$B(t) = e^{-rR(0)t} \times e^{-rR(0)c} \quad (13)$$

여기서 $B(0) = e^{-rR(0)c}$ 이므로, Eq. (13)을 다시 정리하면 Eq. (14)를 얻을 수 있다.

$$B(t) = B(0)e^{-rR(0)t} \quad (14)$$

적 무기체계의 유효사거리(D)와 드론의 이동속도(V)를 통해 총 교전시간(T)을 얻을 수 있고, $t = T$ 일 때 드론이 적 병력에 도달하게 되므로 자폭 공격에 활용될 수 있는 드론의 수 $B(T)$ 는 Eq. (15)와 같다.

$$B(T) = B(0)e^{-rR(0)T} \quad (15)$$

이 때, 드론이 자폭 공격을 하기 위해서는 최소한 1대의 드론이 격추되지 않고 생존하여 적 병력에 도달하여야 한다. 따라서, 전투가 1단계(적 병력에 도달)에서 2단계(자폭 공격 감행)로 진행되기 위해서는 Eq. (16)을 만족하여야 한다.

$$B(0)e^{-rR(0)T} > 1 \quad (16)$$

자폭 공격을 통해 적 병력을 모두 제압하는 데 필요한 드론의 숫자는 적 병력의 수 $R(0)$ 를 드론 한 대가 제압할 수 있는 적 병력의 수로 나누어 얻을 수 있다. ‘자폭 공격’의 특성상 공격과 동시에 드론 역시 소멸되며, 기존

의 란체스터 전투모형에서는 ‘자폭 공격’을 다루지 않으므로 기존의 모형은 적용할 수 없다. 드론 한 대당 제압할 수 있는 적 병력의 수(드론의 살상능력)를 k 라고 하고, 적 병력($R(0)$)을 제압하는 데 필요한 자폭 드론의 수를 Q 라고 하면 Q 는 Eq. (17)로 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{R(0)}{k} \quad (17)$$

적 병력을 제압하기 위해 $B(T) \geq Q$ 를 만족해야 하므로, 전투에 투입해야 하는 드론의 수는 Eq. (15)와 Eq. (17)을 이용하여 구할 수 있으며, Eq. (18)과 같다.

$$B(0) \geq \frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \quad (18)$$

2.2 드론의 최적 소요량과 설계변수

2.2.1 드론의 최적 소요량

2.1절에서 자폭형 군집 드론에 적합한 전투모형을 설정하였고, 드론이 적 병력에 도달하는 시간 T 에서의 드론의 수를 Eq. (15)와 같이 계산하였다. 전투에 투입된 드론의 수가 $B(0)$ 이므로, 적에게 도달하기 이전에 손실된 드론의 수는 Eq. (19)와 같다.

$$\text{손실량} = B(0)(1 - e^{-rR(0)T}) \quad (19)$$

Eq. (19)를 통해 드론의 손실량이 전투에 투입된 드론의 수($B(0)$)에 비해함을 알 수 있다. 이는 기존의 란체스터 전투모형과 상반되는 특징이다. 기존의 선형모형과 제곱모형에서는 초기 병력의 수가 증가했을 때 병력 손실이 증가하지 않는다. 특히, 제곱모형의 경우 전투력이 병력의 제곱에 비례하므로, 초기 병력이 증가할 경우 병력 손실이 현격히 감소하는 특성을 보인다.

초기 투입량에 비례하여 손실량이 증가하므로 적 병력 제압이 가능한 범위 내에서 투입 드론의 수를 줄이는 것이 유리하다. 따라서, Eq. (18)을 바탕으로 드론의 최적 소요량을 결정할 수 있고, 이는 Eq. (20)과 같다.

$$\text{최적 소요량} = \frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \quad (20)$$

2.2.2 드론의 설계변수

앞서 드론의 최적 소요량을 Eq. (20)과 같이 도출하였다. Eq. (20)을 통해 드론의 최적 소요량은 적의 전투효율(r), 드론의 살상능력(k), 총 교전시간(T), 투입된 적 병력의 수($R(0)$)에 의해 결정됨을 알 수 있다. 여기서 투입된 적 병력의 수($R(0)$)는 온전히 적에 의해 결정되는 값이지만, 적의 전투효율(r)과 드론의 살상능력(k),

그리고 총 교전시간(T)의 경우 각각 드론의 피탄면적, 살상능력, 속력과 같은 제원에 의해 결정된다. 따라서, 드론의 최적 소요량을 결정하는 3가지 요소인 피탄면적, 살상능력, 속력을 드론의 최적설계를 결정하는 설계변수(design variables)로 정의할 수 있고, 각각의 설계변수와 최적 소요량의 관계는 아래와 같다.

① 드론의 피탄면적과 최적 소요량의 관계

드론의 피탄면적은 적의 전투효율(r)에 영향을 미치는 요소다. 여기서 피탄면적은 적의 위치에서 바라보았을 때 노출되는 면적으로, 적으로부터 발사된 탄에 피탄될 수 있는 면적을 의미한다. 자폭형 군집드론의 전투모형은 선형모형이므로, 여기서 전투효율 r 의 정의는 Eq. (5)를 따른다. Eq. (5)에서의 전투효율 b 는 평균(B)의 탄 한 발의 살상면적 A_L 에 비례하는데, 이러한 정의에 따라 전투효율 r 은 적 병력(R)의 탄 한 발의 살상면적에 비례한다. 이 때, 적 병력의 탄 한 발의 살상면적은 곧 드론의 피탄면적과 같으므로, 적의 전투효율 r 은 드론의 피탄면적에 비례한다. 결과적으로, 드론의 피탄면적이 $x\%$ 감소할 경우, 적 병력의 전투효율 역시 $x\%$ 감소하는 효과가 있으며, 이에 따라 드론의 최적 소요량은 Eq. (21)과 같이 변화한다.

$$\text{최적 소요량} = \frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times e^{-\frac{x}{100}rR(0)T} \quad (21)$$

* 피탄면적 $x\%$ 감소시

② 드론의 살상능력과 최적 소요량의 관계

드론의 살상능력(k)이 $x\%$ 증가할 경우, 드론의 소요량은 Eq. (22)와 같이 변화한다.

$$\text{최적 소요량} = \frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times \frac{100}{100+x} \quad (22)$$

* 살상능력 $x\%$ 증가시

③ 드론의 속력과 최적 소요량의 관계

드론의 속력(V)이 $x\%$ 증가할 경우, 교전시간 T 는 $\left(\frac{100x}{100+x}\right)\%$ 감소하며, 이에 따라 드론의 최적 소요량은 Eq. (23)과 같이 변화한다.

$$\text{최적 소요량} = \frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times e^{-rR(0)\left(\frac{x}{100+x}\right)T} \quad (23)$$

* 속력 $x\%$ 증가시

2.2.3 수치적 분석

적 병력의 수($R(0)$)가 50명이고, 전투효율(r)이 0.001(명/초)이라고 하자. 드론의 살상능력(k)이 0.1(명/기)이고, 교전시간(T)이 10초일 경우 Eq. (17)에 의해 드론의 최적 소요량은 824.36기가 된다. 이 때, 드론의 설계변수인 피탄면적, 살상능력, 속력의 증가 또는 감소에 따른 드론의 최적 소요량의 변화를 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같다.

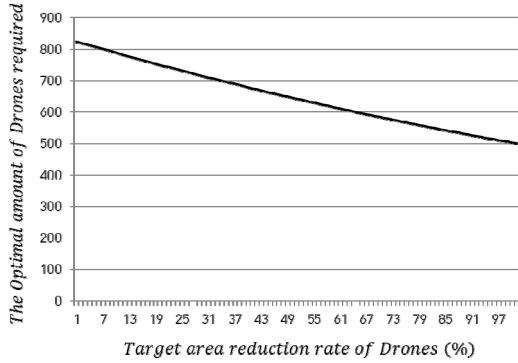


Fig. 2. Changes in the Optimal amount of Drones as the Drone's target area decreases

Fig. 2는 Eq. (21)을 이용하여 드론의 피탄면적 감소율(%)에 따른 최적 소요량의 변화를 나타낸 그래프다. 드론의 피탄면적이 감소함에 따라 적의 전투효율(r)이 감소하므로, 드론의 최적 소요량이 감소함을 알 수 있으며, 피탄면적의 감소율이 100%에 가까워지면 비행 중 격추되는 드론의 숫자가 0에 수렴하게 되므로 드론의 최적 소요량은 자폭 공격에 필요한 숫자인 500기에 수렴한다. 여기서 500이라는 숫자는 Eq. (17)을 통하여 구할 수 있다.

그래프의 기울기는 Eq. (21)을 x 에 대하여 미분함으로써 구할 수 있고, 이는 Eq. (24)와 같다.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times e^{-\frac{x}{100}rR(0)T} \right) = -\frac{rR(0)^2 T}{100} e^{rR(0)T(1-\frac{x}{100})} \quad (24)$$

Fig. 3은 Eq. (22)를 이용하여 드론의 살상능력 증가율(%)에 따른 최적 소요량의 변화를 나타낸 그래프다. 드론의 살상능력(k)이 증가함에 따라 드론의 최적 소요량은 감소하며, 특히 증가율이 낮을 때 가파르게 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 그래프의 기울기는 Eq. (22)를 x 에 대하여 미분함으로써 구할 수 있고, 이는 Eq. (25)와 같다.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times \frac{100}{100+x} \right) = -\frac{100R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \frac{1}{(x+100)^2} \quad (25)$$

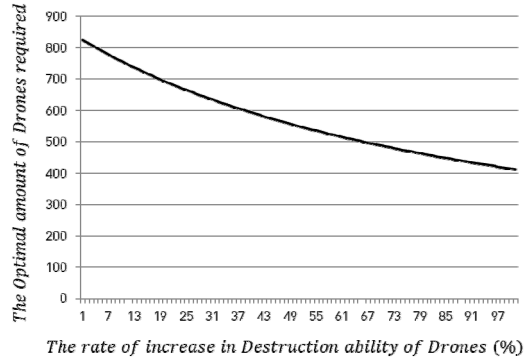


Fig. 3. Changes in the Optimal amount of Drones as the Drone's destruction ability increases

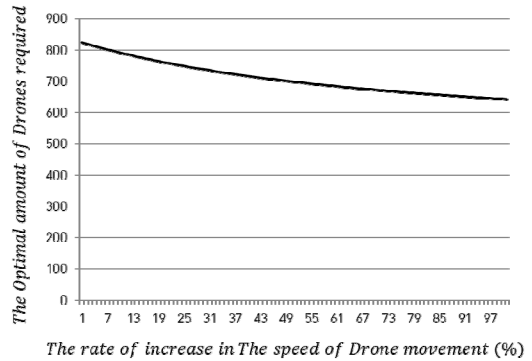


Fig. 4. Changes in the Optimal amount of Drones as the Speed of Drones increases

Fig. 4는 Eq. (23)을 이용하여 드론의 속력 증가율(%)에 따른 최적 소요량의 변화를 나타낸 그래프다. 드론의 속력이 증가함에 따라 교전시간(T)이 감소하므로, 드론의 최적 소요량이 감소함을 알 수 있다. Fig. 3과 마찬가지로, 증가율이 낮을 때 드론의 최적 소요량이 가파르게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그래프의 기울기는 Eq. (23)을 x 에 대하여 미분함으로써 구할 수 있고, 이는 Eq. (26)과 같다.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{R(0)}{ke^{-rR(0)T}} \times e^{-rR(0)(\frac{x}{100+x})T} \right) = -\frac{100rR(0)^2 T}{k(100+x)^2} e^{\frac{100rR(0)T}{100+x}} \quad (26)$$

Fig. 2~Fig. 4를 통해 드론의 3가지 설계변수와 최적 소요량의 관계를 확인하였고, 각각의 설계변수마다 증가 및 감소율에 따른 최적 소요량의 변화량이 다르다는 점을 확인하였다.

실제 설계문제에서 3가지 설계변수는 서로 독립적이지 않으며, 영향을 주고받는다. 예를 들면, 살상능력을 높이기 위해 드론에 장착되는 폭약의 양을 증가시킨다면, 드론의 크기와 무게가 증가할 수밖에 없으므로 피탄 면적은 커지고, 속력은 줄어드는 결과가 발생할 것이다. 따라서, 추후 자폭형 군집 드론의 설계에 있어, 비용 요소와 함께 Fig. 2~Fig. 4를 통해 알 수 있는 각각의 설계 변수의 효과를 고려한 최적 설계를 달성하기 위해 노력해야 하며, 이를 통해 군집 무기체계의 도입 목적 중 하나인 경제성을 획득할 수 있을 것이다.

3. 결론

4차 산업혁명은 전장의 모습을 변화시키고 있다. 변화의 대표적인 예시가 바로 ‘드론’의 등장이다. 드론은 작전의 효율성을 높여줄 뿐만 아니라 인구절벽으로 인한 병역자원 문제를 해결하기 위한 대안으로도 떠오르고 있다. 전장에서 드론의 역할은 점차 확대되고 있으며, 최근에는 4차 산업혁명의 첨단기술과 연계하여 지능화되고 네트워크화되어가고 있다. 첨단기술 중에서도 특히 군집 5 로봇 기술의 발전이 큰 변화를 이끌어올 것으로 보인다. 지능화된 군집 드론이 전장에 등장한다면 예상할 수 있는 형태가 ‘자폭형 군집 드론’이다. 자폭형 군집 드론은 기존의 무기체계와 다른 ‘자폭’이라는 전투방식을 가진다. 따라서 기존의 전투 시뮬레이션에서 활용하는 전투모형과 다른 전투모형이 필요하며, 본 연구에서는 자폭형 군집 드론에 적합한 전투모형으로 란체스터 전투모형 중 선형모형 활용한 자폭형 군집 드론의 전투모형을 제시하였다.

자폭형 군집 드론의 전투모형의 중요한 특성은 초기 투입량이 클수록 손실량도 이에 비례하여 커진다는 것이다. 이는 기존의 란체스터 전투모형과의 차이점이다. 기존의 란체스터 전투모형(제공모형)에서는 초기 투입 병력이 클수록 병력 손실량이 감소하므로 전투력을 최대한 집중하는 것이 효율적이었으나, 자폭형 군집 드론의 전투모형에서는 불필요하게 많은 병력 투입이 오히려 아군 피해를 증가시키는 결과를 낳는다. 이러한 특성으로 인해 자폭형 군집 드론의 전투모형에서는 적을 제압하기

위한 드론의 최적 소요량이 존재한다.

드론이 전장에 도입된 배경에는 기술의 발전 외에 경제적인 이유도 존재한다. 정밀유도무기의 발달로 인해 막대한 시간과 자원을 투입하여 확보한 무기체계와 조종사와 같은 인적자원이 적의 미사일에 손실될 우려가 증대되었다. 이에 따라 낮은 비용의, 쉽게 대체 가능한 드론과 같은 무기체계가 기존의 유인 무기체계를 대체하게 된 것이다. 드론의 가격은 전투기 비해 상대적으로 저렴하지만, 손실량이 커진다면 그 장점이 상쇄될 수 있다. 이러한 경제적인 이유를 고려하였을 때, 전투에서 손실되는 드론의 수를 감소시키기 위한 노력이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 손실량을 최소화하기 위한 드론의 최적 소요량을 제시하였고, 이에 영향을 미치는 3가지 설계변수를 제시하였다. 이러한 3가지 설계변수는 향후 군에서 자폭형 군집 드론을 도입하고자 할 때, 작전운용성능(ROC: Required Operational Capability)의 일부로서 제시될 수 있을 것이다.

본 연구에서 다룬 ‘자폭형 군집 드론’은 4차 산업혁명과 함께 새롭게 등장한 무기체계로서, 실제 운용 데이터가 존재하지 않으므로 모형의 타당성을 검증하기 어렵다는 제한사항이 존재한다. 향후 ‘자폭형 군집 드론’이 실제 전력화되고, 운용 데이터를 확보한다면 모형에 대한 검증이 가능할 것이다.

References

- [1] H. H. Choi, "Military unmanned robot trend(1) - Swarm robot technology", *Defense and Technology*, Vol.473, pp. 42-55, Jul. 2018.
- [2] H. H. Choi, "From detection to attack, all at once - Suicide UAV", *Defense and Technology*, Vol.480, pp.30-45, Feb. 2019.
- [3] C. S. Ryu, M. H. Kim, Y. J. Jeong, "A study on the concept of organizing and operating drone-bot combat units", *Defense and Technology*, Vol.480, pp.70-81, Feb. 2019.
- [4] I. H. Shin, Y. S. Kim, "The direction of the Korean Army's drone robot development and tactical concept innovation", *Defense and Technology*, Vol.486, pp.60-71, Aug. 2019.
- [5] H. S. Eom, "A Study on the Measurement of Combat Effectiveness of a Drone-bot Combat System: Using Lanchester Combat Model", *Strategic Research*, Vol.28, No.1, pp.165-190, Mar. 2021.
DOI: <http://doi.org/10.46226/iss.2021.03.28.1.165>
- [6] J. G. Taylor, "Target selection in Lanchester comba

t : linear-law attrition process”, *Naval Res Logist Q*, Vol.20, No.4, pp.673-697, Dec. 1973.
DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.3800200408>

- [7] G. T. Kaup, D. J. Kaup, N. M. Finkelstein, “The Lanchester (n, 1) problem”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.56, No.12, pp.1399-1407, Dec. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.iors.2601936>
- [8] P. S. Sheeba, D. Ghose, “Optimal resource partitioning in conflicts based on Lanchester (n, 1) attrition model”, *2006 American Control Conference*, IEEE, MN, USA, Jun. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACC.2006.1655428>
- [9] P. S. Sheeba, D. Ghose, “Optimal resource allocation and redistribution strategy in military conflicts with Lanchester square law attrition”, *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol.55, No.6, pp.581-591, Jul. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.20303>
- [10] J. H. Hwang, Y. H. Choi, S. H. Park, Y. H. Lee, “Optimal Support of Military Force Based on (2, 2) Lanchester Square Attrition Model”, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.44, No.3, pp.198-205, Jun. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIIE.2018.44.3.198>
- [11] J. G. Taylor, “Lanchester models of warfare, Military Applications Section”, *Operations Research Society of America*, Alexandria, VA, I/II, 1983.
- [12] J. F. C. Kingman, “Stochastic aspects of Lanchester’s theory of warfare”, *Journal of applied probability*, Vol. 39, No. 3, pp.455-465, Sep. 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1239/jap/1034082119>
- [13] D. Park, D. Kim, H. Moon, H. Shin, “Gaussian Approximation of Stochastic Lanchester Model for Heterogeneous Forces”, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.42, No.2, pp.86-95, Apr. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIIE.2016.42.2.086>
- [14] D. M. Roberts, B. W. Conolly, “An extension of the Lanchester square law to inhomogeneous forces with an application to force allocation methodology”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.43, No.8, pp.741-752, Aug. 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1057/iors.1992.112>
- [15] S. Wu, J. Yang, “Optimal military strength allocation for campaign between single-kind arms and multi-kind arms”, *2009 International Conference on Management Science and Engineering*, IEEE, Moscow, Russia, pp.303-308, Sep. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2009.5317471>
- [16] M. Kress, J. P. Caulkins, G. Feichtinger, D. Grass, A. Seidl, “Lanchester model for three-way combat”, *European Journal of Operational Research*, Vol.264, No.1, pp.46-54, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.026>

오 정 택(Jeong-Taek Oh)

[정회원]



- 2014년 2월 : 육군사관학교 물리학과 (물리학 학사)
- 2022년 1월 : 국방대학교 국방과학학과 (국방과학 석사)

<관심분야>

국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리

마 정 목(Jung-Mok Ma)

[정회원]



- 2002년 2월 : 육군사관학교 운영분석학과 (운영분석 학사)
- 2008년 8월 : 미국 펜실베이니아 주립대(PSU) (산업공학 석사)
- 2015년 5월 : 미국 일리노이대(UIUC) (산업공학 박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 부교수

<관심분야>

국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리