

Deriving Priorities between Autonomous Functions of Unmanned Aircraft using AHP Analysis: Focused on MUM-T for Air to Air Combat

Byungho Jung* · Jihyun Oh** · Hyeonju Seol*** · Seong In Hwang*[†]

*Republic of Korea Air Force Academy

**Agency for Defense Development

***Chungnam National University

AHP 기법을 이용한 무인기 자율기능 우선순위 도출: 유무인 협업 공대공 교전을 중심으로

정병호* · 오지현** · 설현주*** · 황성인*[†]

*공군사관학교

**국방과학연구소

***충남대학교

Recently, the Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA) in the United States is studying a new concept of war called Mosaic Warfare, and MUM-T(Manned-Unmanned Teaming) through the division of missions between expensive manned and inexpensive unmanned aircraft is at the center. This study began with the aim of deriving the priority of autonomous functions according to the role of unmanned aerial vehicles in the present and present collaboration that is emerging along with the concept of mosaic warfare. The autonomous function of unmanned aerial vehicles between the presence and absence collaboration may vary in priority depending on the tactical operation of unmanned aerial vehicles, such as air-to-air, air-to-ground, and surveillance and reconnaissance. In this paper, ACE (Air Combat Evaluation), Skyborg, and Longshot, which are recently studied by DARPA, derive the priority of autonomous functions according to air-to-air collaboration, and use AHP analysis.

The results of this study are meaningful in that it is possible to recognize the priorities of autonomous functions necessary for unmanned aircraft in order to develop unmanned aerial vehicles according to the priority of autonomous functions and to construct a roadmap for technology implementation. Furthermore, it is believed that the mass production and utilization of unmanned air vehicles will increase if one unmanned air vehicle platform with only essential functions necessary for air-to-air, air-to-air, and surveillance is developed and autonomous functions are expanded in the form of modules according to the tactical operation concept.

Keywords : Unmanned Aircraft, Priority of Autonomous Function, MUM-T(Manned-Unmanned Teaming), Air to Air, AHP Analysis

Received 3 December 2021; Finally Revised 11 February 2022;

Accepted 11 March 2022

[†] Corresponding Author : saintwang@gmail.com

1. 서론

무인항공기(이하 무인기)는 제1차 세계대전부터 등장하여 그 진가를 본격적으로 인정받기 시작한 것은 1990년대 이후로 볼 수 있다. 20세기 후반에 들어서면서 항공역학, 디지털 비행제어, 엔진과 모터, 배터리, 무선 통신 등 무인기 관련 기술의 급격한 향상과 시스템에 대한 신뢰성 증가, 생산단가 하락 등이 무인기의 진가를 발휘할 수 있는 기반이 된 것으로 판단된다. 초기의 무인기는 대공사격 훈련을 위한 표적기로 개발되었다가 2차 세계대전을 거친 후, 1960년대 베트남 전쟁 시기에 본격적으로 정찰 목적용 무인기들이 등장하였다. 이후 1982년에 일어난 2차 레바논 전쟁에서 이스라엘 공군이 전술적 목적으로 무인기를 운용하면서 본격적인 군용무인기 시대가 열리게 되었으며, 무인기 운용 범위는 1991년 걸프전, 2003~2004년 이라크·아프카니스탄 전쟁을 거치면서 점진적으로 확대되어왔다. 무인기는 부시 행정부가 “테러와의 전쟁”으로 MQ-1 프레데터(Predator)를 운용하여 알카에다 핵심 인물을 추적해 제거함으로써 그 가치를 본격적으로 인정받게 되었다[17].

이러한 무인기의 기술적 발전과 더불어 운용개념 또한 빠르게 변화하고 있다. 특히, 최근에는 유인기와 통합적 운용 즉, 유무인 협업이 강조되고 있다[10]. 이러한 맥락에서 스텔스 무인기인 X-47B를 공중전에 활용하는 방안이 논의되었으며, 이는 F-35와 편조를 이루는 X-47의 내부에 중거리 공대공 미사일을 탑재하여 유인 조종사의 판단에 따라 적기를 요격하는 개념으로 발전시켰다[1, 11].

최근 미국의 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)에서는 모자이크전(Mosaic Warfare)이라는 새로운 전쟁개념을 연구하고 있으며, 그 중심에는 고가의 유인기와 저가의 무인기 간의 임무 분담을 통한 협업이 자리 잡고 있다. 본 연구는 모자이크전 개념과 함께 대두되고 있는 유무인 협업에 있어서 무인기 역할에 따른 자율기능의 우선순위를 도출하고자 하는 목적에서 시작되었다. 유무인 협업 간 무인기 자율기능은 무인기의 전술적 운용, 예를 들면 공대공, 공대지, 감시정찰 등에 따라 우선순위가 달라질 수 있다. 본 논문에서는 최근 미 DARPA에서 연구하고 있는 ACE(Air Combat Evaluation), Skyborg, Longshot 등이 주로 공대공 임무라는 것에 착안하여 공대공 협업에 따른 자율기능의 우선순위를 도출한다. 무인기의 자율기능은 Jung et al.[4]이 제시한 인지(Perception)-판단(Planning)-제어(Control)를 기준으로 한 자율기능 분류체계를 활용하며, 전문가 설문에 기초한 AHP 분석을 통해 자율기능 간 우선순위를 도출한다.

본 연구의 결과는 자율기능 우선순위에 따른 무인기 개발과 기술 구현 로드맵 구성 및 유무인 협업 임무의

성공적 수행을 위해 무인기에 꼭 필요한 자율기능들의 우선순위를 인지할 수 있다는 측면에서 의미가 있다. 나아가 공대공, 공대지, 감시정찰 등에 필요한 필수기능만 갖춘 하나의 무인기 플랫폼을 개발한 후, 전술적 운용개념에 따라 모듈 형태로 자율기능을 확장해 나간다면 무인기의 대량생산 및 활용도 증대도 가능할 것으로 판단된다.

2. 무인기의 자율기능과 분류체계

2.1 무인기의 자율기능

무인기의 자율기능은 무인기가 다양한 임무를 스스로 수행하기 위해 갖추어야 할 기능이라고 할 수 있다. 전 세계적으로 무인기 기술을 선도하고 있는 미국은 작전적 요구 또는 기술적 성숙도에 따라 무인기의 자율화 수준(Autonomous Control Level)을 10단계로 구분하여 정의하고 있으며, 유인기와 무인기의 통합운용 관점에서는 상호운용성 수준(Level of Interoperability)을 5단계로 구분하여 정의하고 있다[15, 16].

자율기능 분류체계에 활용할 자율기능의 메커니즘인 “인지-판단-제어”는 자율로봇의 초기 구조에서 유래되었다. 이러한 메커니즘은 스스로 움직이는 로봇의 통제시스템으로 정의하고, 인지(Sense) 시스템, 판단(Plan) 시스템, 제어(Act) 시스템으로 분류하였다. 인지 시스템은 센서에 의해 입력되는 외부 상황을 청각, 시각적 인지가 가능하도록 변환하는 단계를 의미한다. 판단의 요소는 인지된 사항을 기준으로 목표를 정의하고, 정의된 목표 달성이 가능하도록 계획을 수립하는 단계를 의미한다. 제어는 로봇이 계획된 목표를 달성하기 위해서 필요한 동작을 수행하는 단계를 의미한다. 이러한 메커니즘은 인간의 의사결정 및 반응과 유사하다고 할 수 있다[3, 4].

지금까지 대부분의 연구는 미군에서 적용하고 있는 자율화 수준(10단계)과 상호운용성 수준(5단계)을 적용하고 있지만, 이는 다소 개념적인 접근으로 실제 항공기의 활동과 연계한 자율기능 분류는 사례를 찾아보기 어려운 실정이다.

2.2 자율기능 분류체계

Jung et al.[4]은 최근 비약적인 기술발전을 이루어 나가고 있는 자율주행 자동차의 자율기능 분류에 착안하여 무인기 자율기능 분류체계를 정립하였다. 자율주행 자동차는 ‘인지(Perception)-판단(Planning)-제어(Control)’의 3단계의 조화 속에서 작동한다. 인지단계에서는 카메라·

LiDAR · RADAR 등의 센서로 주변 환경을 인지한다. 판단단계에서는 인지된 환경 정보를 해석하여 안전하고 원활한 주행이 가능한 주행 경로를 생성한다. 마지막 제어 단계에서는 판단단계에서 나온 경로를 추종하도록 하는 가 · 감속 조향제어를 수행한다[7].

Jung et al.[4]은 이러한 자율주행 자동차의 각 단계를 기초로 항공기 활동에 따른 무인기의 자율기능을 판단하였으며, 자율기능의 메커니즘인 인지-판단-제어를 대분류로 놓고, 하위 자율기능 항목들을 식별하였다. 인지-판단-제어의 하위 항목으로 식별된 자율기능 항목들은 공대공, 공대지, 감시정찰 등 현재 유 · 무인기에 적용하고 있는 모든 기능을 의미하며, 전술적 활용에 따라 필요한 자율기능과 상대적 중요도는 다르게 나타날 것이다. 식별된 항목들은 연계구조와 항목간 유사성, 관련성에 따라 계층적 구조(대분류-중분류-소분류)를 완성하였다. 이후, 10년 이상 경험이 있는 조종사, 항공기 개발자, 학계 전문가를 대상으로 3차례에 걸친 델파이 설문을 진행하여 수정 · 보완하였으며, 통계적 검증을 통해 자율기능 분류의 객관성과 타당성을 확인하였다. 통계적 검증은 내용타당도, 합의도, 안정도에 대해 진행하였다[4, 5, 6].

내용타당도는 Lawshe가 제시한 내용타당도 비율(Content Validity Ratio: CVR)을 바탕으로 분석하였다. CVR은 설문 참여자(패널) 수에 따라 최솟값을 제시하고 있으며, 최솟값 이상이 되었을 때 문항에 대한 내용타당도가 있는 것으로 판단된다. 식 (1)은 CVR을 계산하는 방법이며, 설문 참여자 숫자에 따른 최솟값은 <Table 1>과 같다[4].

$$CVR = \frac{IM - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

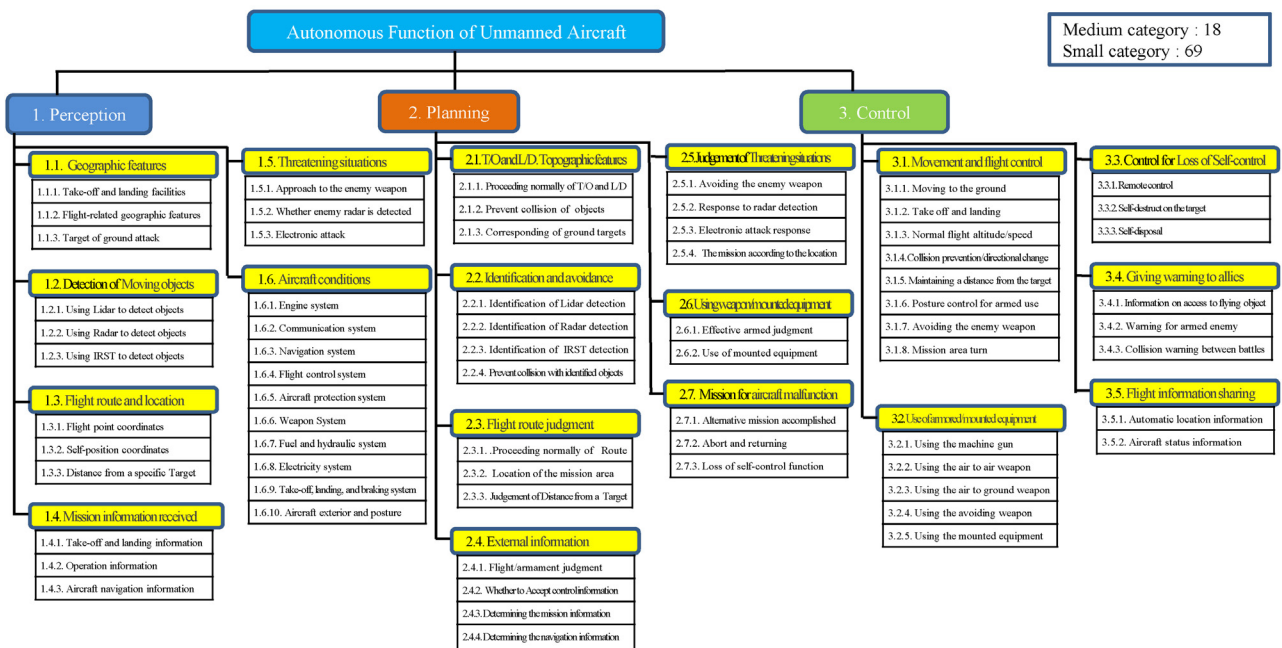
IM: 중요(적합)하다고 응답한 수

N: 설문 참여자(패널) 수

<Table 1> Content Validity Ratio Minimum

Number of respondents	Minimum CVR Value
10	0.62
11	0.59
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33
35	0.31
40	0.29

타당도 검증은 수렴도와 합의도를 기준으로 진행하였다. 수렴도는 0에 가까울수록 타당하고, 합의도는 1에 가까울수록 타당함을 의미하며, 식 (2), (3)은 수렴도, 합의도를 계산하는 방법이다[4].



<Figure 1> Hierarchy Chart of Autonomous Function(Source : Jung et al, [4])

$$\text{수렴도} = \frac{Q_3 - Q_1}{2} \tag{2}$$

$$\text{합의도} = 1 - \frac{Q_3 - Q_1}{Mdn} \tag{3}$$

Q3 : 3분위 값, Q1 : 1분위 값, Mdn : 중앙값

안정도 검증은 변이계수(Coefficient Variation)를 이용하여 진행하였다. 변이계수는 표준편차를 산술평균으로 나눈 값이며, 그 수치가 작을수록 자료들이 평균에 가깝게 분포되어 있다고 볼 수 있다. 일반적으로 변이계수가 0.5 이하인 경우, 추가적인 설문 필요 없고, 0.5~0.8인 경우, 비교적 안정적이라고 판단하게 되며, 0.8 이상인 경우, 추가적인 설문이 필요하다[4]. 델파이 설문과 통계적 검증을 통해 완성된 자율기능 분류 계층도는 <Figure 1>과 같으며, 본 연구는 이 계층도를 바탕으로 진행한다.

3. AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석

AHP 분석은 미국의 Thomas L. Saaty 교수에 의해 1970년대에 고안되었으며, 의사결정과정의 능력을 개선하기 위한 목적으로 개발된 방법이다. AHP 분석은 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 분석하여 관련 요소들을 파악하고, 요소별 평가를 종합하여 대안의 가중치(중요도 또는 우선순위)를 결정한다. 하위 계층에 있는 요소들의 가중치는 바로 상위 계층에 있는 요소에 미치는 영향만으로 평가되며, 가중치는 사전에 결정되지 않고, 분석과정에서 평가요소 간 쌍대비교를 통해 결정된다[8, 13].

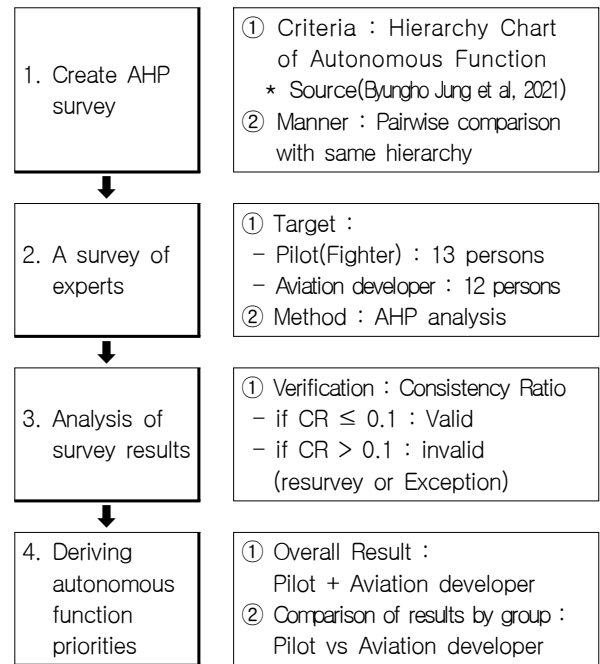
AHP 분석은 계량적 수치에 의한 의사결정이 상대적으로 어려운 상황에서 다수 전문가의 의견을 종합하여 계량화하며, 정량적 자료와 정성적 자료도 함께 고려할 수 있는 특징이 있다. 정치, 행정, 경제, 공학, 사회 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있으며, 특히 국가 또는 공공기관에서 실행계획의 수립, 자원 배분, 정책 결정, 공공정책 이해관계자의 갈등 해소 등에 활용되고 있다.

AHP 분석과정은 의사결정 문제의 이해, AHP 모형 구축, 계층별 요소의 중요도 평가, 계층별 요소의 가중치 계산, 계층별 평가 종합의 5단계로 정리할 수 있다. 먼저 1단계에서는 의사결정 문제를 이해하고, 의사결정의 목표를 선정, 평가요소 및 선택 가능한 대안을 개발하게 된다. 2단계에서는 최상위 수준에 의사결정 목표를 두고 목표 달성에 영향을 주는 평가요소들을 계층적으로 구성하며, 최하위 수준에 평가 대상인 대안을 배치한다. 3단계에서는 하나의 계층을 구성하는 요소들을 둘씩 짝지어 상위 요소의 관점에서 상대적 중요도를 평가한다. 4단계에서는 계층별 요소의 가중치를 계산하고, 마지막으로 각 가중치를

종합하여 최종 가중치를 산정한다[9, 12, 14].

4. 연구수행 절차

본 연구는 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능간 중요도에 따른 우선순위 도출이 목적이며, 연구는 <Figure 2>와 같이 총 4단계로 진행된다.



<Figure 2> Flow Chart for Study

첫 번째는 Jung et al.[4]의 연구 결과로 만들어진 무인기 자율기능 분류 계층도를 기준으로 AHP 설문을 작성하는 단계이다. AHP 설문은 위계가 같은 항목 간의 쌍대비교로 진행하며, 각 항목의 중요도를 판단할 수 있도록 좌, 우 9점 척도로 구성한다. 위계가 같은 항목 간의 쌍대비교란 의미는 대분류는 대분류끼리, 대분류 하위의 중분류는 하위의 중분류끼리, 중분류 하위의 소분류는 하위의 소분류끼리 쌍대비교함을 의미한다.

두 번째는 전문가 설문을 진행하는 단계이다. 무인기 자율기능과 관련한 전문가는 공군 전투기 조종사와 항공기 개발자를 대상으로 한다. AHP 설문에서는 전문가의 선정이 무엇보다 중요하기 때문에 본 연구의 설문에 참여하는 전문가 선정에 심혈을 기울였다. 전문가는 공중환경에 대한 이해와 항공기 조종 숙달도가 높은 10년 이상 경력의 조종사와 항공기 기체 성능과 기능에 대한 이해도가 높은 10년 이상 경력의 항공기 설계 및 제작 업무에 종사한 개발자를 대상으로 한다.

연구에서는 일관성 비율이 떨어지는 무효 설문을 감안하여 조종사 13명, 개발자 12명, 총 25명에 대한 설문을 진행한다.

세 번째는 설문결과를 분석하는 단계이다. AHP 설문은 유효성 검증을 위해 일관성 비율(Consistency ratio)을 활용한다. AHP 분석에서는 일반적으로 일관성 비율이 0.1보다 작으면 설문의 유효성을 인정하고, 일관성 비율이 0.1보다 크면 무효 설문으로 구분한다. 본 연구에서는 일반적인 기준인 일관성 비율 0.1을 적용하며, 일관성 비율이 0.1을 초과하는 설문은 무효로 처리하였다. 총 25명에 대한 설문 중 유효설문 20부(조종사 10부, 개발자 10부)를 확보하였다.

네 번째는 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 우선순위를 도출하는 단계이다. 먼저 유효설문 20명에 대한 종합결과를 우선 제시하여 전체적인 자율기능의 우선순위를 제시하고, 각 전문가 집단(조종사, 개발자) 별 결과를 비교하여 조종사 관점과 개발자 관점에서 자율기능 중요도에 대한 인식의 차이가 있음을 확인한다.

5. 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 간 우선순위

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 간 우선순위는 전체의 합을 1로 하여 각각이 차지하는 가중치를 수치로 표현하였다. 즉, 대분류 3개 자율기능의 가중치 합, 중분류 18개 자율기능 가중치의 합, 소분류 69개 자율기능 가중치의 합은 모두 1이며, 하위 자율기능은 상위 자율기능 가중치(중요도)의 영향을 받는다. 인지-판단-제어의 대분류와 관계없이 가중치를 이용하여 중분류는 중분류끼리, 소분류는 소분류끼리 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 전체 우선순위를 나열할 수 있지만, 본 논문에서는 실제 쌍대비교를 수행한 기능 간의 상대적 중요도(가중치)와 전문가 집단 간의 평가에 대한 비교/분석에 중점을 두고 진행한다.

5.1 대분류 항목 간 자율기능 우선순위

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 대

분류 항목 간 우선순위(상대적 중요도)를 분석한 결과는 <Table 2>와 같다.

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능의 상대적 중요도는 ‘1. 인지(0.453), 3. 제어(0.281), 2. 판단(0.266)’ 순으로 나타났다. 전문가들은 무인기가 실제 임무를 수행하기 위해서 자율기능 중 ‘인지’ 기능이 가장 중요하다고 생각함을 알 수 있었고, 조종사와 개발자 모두 동일한 순서로 중요도에 대한 우선순위를 평가하였다.

조종사와 개발자의 분석 결과를 좀 더 자세히 들여다 보면 조종사의 중요도에 대한 가중치는 ‘1. 인지(0.361), 3. 제어(0.322), 2. 판단(0.317)’으로 기능 간 상대적 중요도를 고르게 평가하고 있는 반면에 개발자는 ‘1. 인지(0.544), 3. 제어(0.240), 2. 판단(0.216)’으로 전체 가중치의 50% 이상을 인지 기능이 중요하다고 평가하였다. 조종사는 실제 항공기를 운영함에 따라 자율기능 간 조화를 통한 안정적 비행을, 개발자는 무인기를 개발하는 입장에서 자율기능 구현의 핵심인 인지 기능을 중요하게 생각하는 것을 확인할 수 있었다.

5.2 “인지” 하위 항목 간 자율기능 우선순위

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 중, ‘1. 인지’ 하위 항목 간 우선순위(상대적 중요도)를 분석한 결과는 <Table 3>과 같다.

중분류 6항목 간의 우선순위는 ‘1.5. 위협상황 인지(0.121), 1.6. 항공기 상태 이상유무 인지(0.094), 1.3. 비행 경로 및 위치인지(0.072)’ 순으로 평가하였다. 중분류 6항목의 중요도에서도 일부 항목은 조종사와 개발자의 상대적 중요도에 대한 가중치가 다름을 확인할 수 있었다. 조종사는 ‘1.5. 위협상황인지(0.096), 1.3. 비행경로 및 위치인지(0.067)’ 순으로 자율기능의 상대적 중요도를 평가하였으나, 개발자는 ‘1.5. 위협상황 인지(0.145), 1.6. 항공기 상태 이상유무 인지(0.134)’ 순으로 상대적 중요도를 평가하여 조종사는 비행경로 및 위치를, 개발자는 항공기 상태 이상 유무에 대한 인지의 중요도에 대한 가중치를 높게 인식하고 있음을 알 수 있었다.

소분류 25항목 간의 우선순위는 ‘1.5. 위협상황 인지’의 하위 기능인 ‘1.5.1. 적 무기체계 접근상황 인지(0.046), 1.5.2. 적 레이다 탐지 여부 인지(0.039), 1.5.3. 전자적 공

<Table 2> Relative Importance of Large Categories

Classification	Pilot(fighter)		Developer		Total	
1. Perception	0.361	①	0.544	①	0.453	①
2. Planning	0.317	③	0.216	③	0.266	③
3. Control	0.322	②	0.240	②	0.281	②

<Table 3> Relative importance of “Perception” sub-function

Large Category				Medium Category				Small category			
Category	P	D	T	Category	P	D	T	Category	P	D	T
1. Perception	0.361	0.544	0.453	1.1. Geographic features	0.034 ⑥	0.033 ⑥	0.033 ⑥	1.1.1. Take-off and landing facilities	0.015	0.016	0.015
								1.1.2. Flight-related geographic features	0.014	0.012	0.013
								1.1.3. Target of ground attack	0.005	0.005	0.005
				1.2. Detection of Moving objects	0.055 ③	0.078 ③	0.067 ④	1.2.1. Using Lidar to detect objects	0.014	0.021	0.018
								1.2.2. Using Radar to detect objects	0.029	0.037	0.033
								1.2.3. Using IRST to detect objects	0.012	0.020	0.016
				1.3. Flight route and location	0.067 ②	0.077 ④	0.072 ③	1.3.1. Flight point coordinates	0.016	0.016	0.016
								1.3.2. Self-position coordinates	0.032	0.034	0.033
								1.3.3. Distance from a specific Target	0.019	0.027	0.023
				1.4. Mission information received	0.055 ③	0.077 ④	0.066 ⑤	1.4.1. Take-off and landing information	0.016	0.019	0.017
								1.4.2. Operation information	0.023	0.034	0.029
								1.4.3. Aircraft navigation information	0.016	0.023	0.020
				1.5. Threatening situations	0.096 ①	0.145 ①	0.121 ①	1.5.1. Approach to the enemy weapon	0.043	0.049	0.046
								1.5.2. Whether enemy radar is detected	0.033	0.046	0.039
								1.5.3. Electronic attack	0.020	0.051	0.035
				1.6. Aircraft conditions	0.055 ③	0.134 ②	0.094 ②	1.6.1. Engine system	0.010	0.022	0.016
								1.6.2. Communication system	0.003	0.013	0.008
								1.6.3. Navigation system	0.004	0.010	0.007
								1.6.4. Flight control system	0.011	0.035	0.023
								1.6.5. Aircraft protection system	0.002	0.008	0.005
1.6.6. Weapon System	0.003	0.011	0.007								
1.6.7. Fuel and hydraulic system	0.006	0.011	0.008								
1.6.8. Electricity system	0.007	0.010	0.009								
1.6.9. Take-off, landing, and braking system	0.004	0.005	0.004								
1.6.10. Aircraft exterior and posture	0.004	0.009	0.007								

* P: Pilot, D: Developer, T: Total.

격 인지(0.035), 1.2.2. Radar를 이용한 비행물체 탐지 (0.033), 1.3.2. 자체 위치 좌표 인지(0.033)’ 순으로 평가하였다. 소분류 25항목의 중요도에서도 일부 항목은 조종사와 개발자의 중요도 인식이 다를 수 있었다. 조종사는 ‘1.5.1. 적 무기체계 접근상황 인지(0.043), 1.5.2. 적 레이더 탐지여부 인지(0.033), 1.3.2 자체 위치 좌표 인지(0.032), 1.2.2. Radar를 통한 비행물체 탐지(0.029), 1.4.2. 작전정보 수신(0.023)’ 순으로 중요도를 평가하였으나, 개발자는 ‘1.5.3. 전자적 공격 인지(0.051), 1.5.1. 적 무기체계 접근 상황 인지(0.049), 1.5.2. 적 레이더 탐지여부 인지(0.046), 1.2.2. Radar를 통한 비행물체 탐지 (0.037), 1.6.4. 비행조종계통 이상유무 인지(0.035)’ 순으로 중요도를 평가하였다. 소분류 자율기능 항목 중 3가지 항목(1.5.1., 1.5.2., 1.2.2.)은 조종사와 개발자가 동일하게 중요한 기능으로 인식하고 있었다. 하지만, 나머지 항목 중 조종사는 ‘1.3.2. 자체 위치 좌표 인지, 1.4.2. 작전정보 수신’에 대한 가중치를 높게 평가하였으나, 개발자는 ‘1.5.3. 전자적 공격 인지, 1.6.4. 비행조종계통 이상유무

인지’의 중요도에 대한 가중치를 높게 평가하였다.

5.3 “판단” 하위 항목 간 자율기능 우선순위

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 중, ‘2. 판단’ 하위 항목 간 우선순위(상대적 중요도)를 분석한 결과는 <Table 4>와 같다.

중분류 7항목 간의 상대적 중요도는 ‘2.5. 위협상황 판단(0.065), 2.2. 이동물체 식별 및 회피 판단(0.041), 2.6. 무장/장착장비 사용 판단(0.038)’ 순으로 평가하였다. 중분류 7항목에서도 일부 항목은 조종사와 개발자의 상대적 중요도에 대한 가중치가 다를 수 있었다. 조종사는 ‘2.5. 위협상황 판단(0.068), 2.4. 외부정보 판단(0.053), 무장/장착장비 사용판단(0.047)’ 순으로 자율기능의 중요도를 평가하였으나, 개발자는 ‘2.5. 위협상황 판단(0.061), 2.2. 이동물체 식별 및 회피 판단(0.041)’ 순으로 상대적 중요도에 대한 가중치를 평가하여 조종사는 외부정보 판단을, 개발자는 이동물체 식별 및 회피 판단을 상대적으로

<Table 4> Relative Importance of “Planning” sub-function

Large Category				Medium Category				Small category			
Category	P	D	T	Category	P	D	T	Category	P	D	T
2. Planning	0.31 7	0.21 6	0.26 6	2.1. T/O and L/D. Topographic features	0.026 ⑦	0.011 ⑦	0.019 ⑦	2.1.1. Proceeding normally of T/O and L/D	0.014	0.004	0.009
								2.1.2. Prevent collision of objects	0.009	0.005	0.007
								2.1.3. Corresponding of ground targets	0.004	0.002	0.003
				2.2. Identification and avoidance	0.040 ⑤	0.041 ②	0.041 ②	2.2.1. Identification of Lidar detection	0.009	0.008	0.008
								2.2.2. Identification of Radar detection	0.016	0.013	0.014
								2.2.3. Identification of IRST detection	0.008	0.008	0.008
								2.2.4. Prevent collision with identified objects	0.008	0.013	0.010
				2.3. Flight route judgment	0.046 ④	0.024 ⑤	0.035 ⑤	2.3.1. Proceeding normally of Route	0.014	0.005	0.009
								2.3.2. Location of the mission area	0.013	0.008	0.010
								2.3.3. Judgement of Distance from a Target	0.019	0.011	0.015
				2.4. External information	0.053 ②	0.022 ⑥	0.037 ④	2.4.1. Flight/armament judgment	0.009	0.004	0.006
								2.4.2. Whether to Accept control information	0.006	0.002	0.004
								2.4.3. Determining the mission information	0.019	0.009	0.014
								2.4.4. Determining the navigation information	0.019	0.007	0.013
				2.5. Judgement of Threatening situations	0.068 ①	0.061 ①	0.065 ①	2.5.1. Avoiding the enemy weapon	0.024	0.014	0.019
								2.5.2. Response to radar detection	0.016	0.022	0.019
								2.5.3. Electronic attack response	0.013	0.017	0.015
								2.5.4. The mission according to the location	0.015	0.008	0.012
				2.6. Using weapon/ mounted equipment	0.047 ③	0.030 ③	0.038 ③	2.6.1. Effective armed judgment	0.030	0.017	0.023
								2.6.2. Use of mounted equipment	0.017	0.013	0.015
				2.7. Mission for aircraft malfunction	0.037 ⑥	0.026 ④	0.032 ⑥	2.7.1. Alternative mission accomplished	0.009	0.009	0.009
2.7.2. Abort and returning	0.009	0.005	0.007								
2.7.3. Loss of self-control function	0.019	0.013	0.016								

*P: Pilot, D: Developer, T: Total.

로 중요한 기능으로 생각하고 있음을 알 수 있었다.

소분류 23항목 간의 상대적 중요도는 ‘2.6.1. 효과적 무장 종류 판단(0.023), 2.5.1 적 무기체계 접근에 따른 회피 판단 (0.019), 2.5.2. 적 레이더 탐지에 따른 대응 판단(0.019), 2.7.3. 자율기능 상실 판단(0.016), 2.3.3. 특정목표(적기, 편조)와의 거리 판단(0.015), 2.5.3. 전자적 공격에 따른 대응 판단(0.015), 2.6.2. 임무에 따른 장착장비 사용 판단(0.015)’ 순으로 평가하였다. 소분류 23항목의 중요도에서도 일부 항목은 조종사와 개발자의 상대적 중요도가 다름을 알 수 있었다. 조종사는 ‘2.6.1. 효과적 무장 종류 판단(0.030), 2.5.1. 적 무기체계 접근에 따른 회피 판단(0.024), 2.3.3. 특정목표와의 거리 판단(0.019), 2.4.3. 임무정보 판단 (0.019), 2.4.4. 항적 정보 판단(0.019), 2.7.3. 자율제어 기능 상실 판단(0.019)’ 순으로 상대적 중요도를 평가하였다. 하지만, 개발자는 ‘2.5.2. 적 레이더 탐지에 따른 대응 판단 (0.022), 2.5.3. 전자적 공격에 따른 대응 판단(0.017), 2.6.1. 효과적 무장 종류 판단(0.017), 2.5.1. 적 무기체계 접근에 따른 회피 판단(0.014)’ 순으로 상대적 중요도를 평가하였

다. 소분류 자율기능 항목 중 효과적 무장 종류 판단, 적 무기체계 접근에 따른 회피 판단은 조종사와 개발자 모두 중요한 기능으로 평가하였으나, 조종사는 특정목표와의 거리, 임무정보, 항적 정보, 자율기능 상실 등 공중에서 임무를 수행함에 있어서 필요한 기능을, 개발자는 레이더 탐지에 따른 대응, 전자적 공격에 따른 대응 등 적에게 노출되었을 경우 대처하는 기능의 중요도를 높게 평가함을 알 수 있었다.

5.4 “제어” 하위 항목 간 자율기능 우선순위

유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 중, ‘3. 제어’ 하위 항목 간 우선순위(상대적 중요도)를 분석한 결과는 <Table 5>와 같다.

중분류 5항목 간의 상대적 중요도는 ‘3.2. 무장/장착장비 사용(0.067), 3.1. 이동 및 비행 제어(0.063), 3.3. 자율기능 상실에 따른 제어(0.056)’ 순으로 가중치를 평가하였다. 중분류 5항목의 중요도에서도 일부 항목은 조종사와 개발

<Table 5> Relative Importance of “Control” sub-function

Large Category				Medium Category				Small category			
Category	P	D	T	Category	P	D	T	Category	P	D	T
3. Cont-rol	0.322	0.240	0.281	3.1. Movement and flight control	0.068 ③	0.057 ②	0.063 ②	3.1.1. Moving to the ground	0.008	0.003	0.005
								3.1.2. Take off and landing	0.013	0.011	0.012
								3.1.3. Normal flight altitude/speed	0.008	0.011	0.010
								3.1.4. Collision prevention/directional change	0.008	0.009	0.009
								3.1.5. Maintaining a distance from the target	0.007	0.005	0.006
								3.1.6. Posture control for armed use	0.008	0.006	0.007
								3.1.7. Avoiding the enemy weapon	0.009	0.010	0.010
								3.1.8. Mission area turn	0.007	0.003	0.005
				3.2. Use of armored/mounted equipment	0.080 ①	0.053 ③	0.067 ①	3.2.1. Using the machine gun	0.014	0.004	0.009
								3.2.2. Using the air to air weapon	0.034	0.017	0.025
								3.2.3. Using the air to ground weapon	0.007	0.006	0.007
								3.2.4. Using the avoiding weapon	0.011	0.016	0.014
								3.2.5. Using the mounted equipment	0.014	0.010	0.012
				3.3. Control for Loss of Self-control	0.051 ④	0.061 ①	0.056 ③	3.3.1. Remote control	0.025	0.039	0.032
								3.3.2. Self-destruct on the target	0.008	0.011	0.009
								3.3.3. Self-disposal	0.018	0.012	0.015
				3.4. Giving warning to allies	0.073 ②	0.033 ⑤	0.053 ④	3.4.1. Information on access to flying object	0.019	0.010	0.015
								3.4.2. Warning for armed enemy	0.036	0.012	0.024
								3.4.3. Collision warning between battles	0.018	0.011	0.014
				3.5. Flight information sharing	0.050 ⑤	0.036 ④	0.043 ⑤	3.5.1. Automatic location information	0.030	0.016	0.023
								3.5.2. Aircraft status information	0.020	0.020	0.020

자의 상대적 중요도를 다르게 인식함을 알 수 있었다. 조종사는 ‘3.2. 무장/장착장비 사용(0.080), 3.4. 아군에 대한 경고 제공(0.073), 3.1. 이동 및 비행제어(0.068)’ 순으로 자율기능의 상대적 중요도를 평가하였으나, 개발자는 ‘3.3. 자율기능 상실에 따른 제어(0.061), 3.1. 이동 및 비행제어(0.057), 3.2. 무장/장착장비 사용(0.053)’ 순으로 상대적 중요도를 평가하여 조종사는 무장/장착장비 사용과 더불어 협업 간 아군에 대한 경고 제공을, 개발자는 자율기능 상실에 따른 제어 기능을 중요하게 인식함을 알 수 있었다.

소분류 21항목 간 상대적 중요도는 ‘3.3.1. 원격통제(지상통제소, 유인기) 시행(0.032), 3.2.2. 공대공 무장 사용(0.025), 3.4.2. 적기 무장사용 자동 경고 제공(0.024), 3.5.1 이동간 자동 위치 정보 제공(0.023), 3.5.2. 항공기 기능 이상유무 정보 제공(0.020)’순으로 가중치를 평가하였다. 소분류 21항목의 중요도에서도 조종사와 개발자의 상대적 중요도에 대한 인식이 다를 수 있었다. 조종사는 ‘3.4.2. 적기 무장사용 자동경고 제공(0.036), 3.2.2. 공대공 무장사용(0.034), 3.5.1. 이동간 자동 위치정보 공유(0.030), 3.3.1. 원격통제 시행(0.025), 3.5.2. 항공기 기능 이상유무 정보 제공(0.020)’ 순으로 중요도에 대한 우선순위를 평가하였다. 하지만, 개발자는 ‘3.3.1. 원격통제 시행(0.039), 3.5.2. 항공기 기능 이상유무 정보 제공(0.020), 3.2.2. 공대공 무장 사용(0.017), 3.2.4. 회피 무장 사용

(0.016), 3.5.1. 이동간 자동 위치정보 공유(0.016)’ 순으로 중요도에 대한 우선순위를 평가하였다. 소분류 자율기능 항목 중 4가지 항목(3.2.2., 3.3.1., 3.5.1., 3.5.2.)은 조종사, 개발자가 동일하게 중요한 기능으로 인식하고 있었으며, 나머지 항목 중 조종사는 적기 무장사용 자동 경고 제공을, 개발자는 회피무장 사용을 중요한 자율기능으로 평가하였다.

6. 결 론

무인기의 등장과 발전으로 인해 미래 항공전은 다양한 형태로 발전해 나갈 것으로 생각된다. 현재도 기존 유인기만의 고유한 임무들을 무인기가 차례로 대체해 나가고 있으며, 주요 선진국들은 전장에서 무인기의 활용을 점차 증대해 나가고 있다. 이러한 무인기의 활용은 인명피해를 최소화하고 전투 효과를 상승시키기 위해 기존의 유인 전투체계와 통합 운용의 형태로 나타날 것이다. 따라서 유·무인기의 능력을 상호 보완하여 장점을 극대화할 수 있는 유무인 협업 임무 형태 도출은 점점 더 많은 연구가 이루어질 것으로 생각된다.

본 연구는 이렇게 중요성이 더욱 증대되고 있는 유무인 협업, 그중에서도 공대공 교전을 중심으로 무인기 자

율기능의 상대적 중요도(우선순위)를 도출하고자 하는 목적으로 진행하였다. 본 연구를 위해 Jung et al.[4]의 기존연구인 자율기능 분류체계를 활용하였으며, 방법론은 AHP분석을 활용하였다. 자율기능간 중요도에 대한 우선순위(가중치) 도출을 위해 공군 조종사와 항공기 개발자를 대상으로 설문문을 진행하였으며, 종합된 결과와 전문가 집단 간 설문결과 비교를 통해 자율기능의 중요도에 대한 인식의 차이도 제시하였다. 다만, 설문 대상을 실무 경험 위주로 선정하다 보니 학계 전문가나 의사결정자를 포함하지 못했다는 건 본 연구의 한계로 볼 수 있다. 하지만, 유무인 협업을 위한 무인기 개발, 도입 등의 사업을 추진한다면 의사결정자나 학계 전문가의 참여가 필수적이므로 보완이 가능할 것으로 생각한다.

본 연구의 의의는 다음 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 본 연구를 통해 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능의 우선순위를 제시하였다. 이는 공대공 교전 전술 수행을 위해 무인기에 필요한 자율기능의 우선순위로 판단할 수 있으며, 공대공 교전을 위한 무인기 개발 또는 도입의 판단 근거가 될 수 있다. 이러한 방법론은 공대지, 감시정찰 등으로 확장하여 적용이 가능할 것으로 판단된다. 둘째, 필수기능만을 갖춘 무인기를 설계/생산하고, 전술상 필요한 기능을 모듈 형태로 추가해 간다면 무인기의 대량생산을 통한 규모의 경제 실현도 가능할 것이다. 먼저 공대공, 공대지, 감시정찰 등 여러 임무에 대한 자율기능의 우선순위를 도출하고, 그중 우선순위(중요도)가 높은 공통 자율기능만 선별하여 무인기를 제작하고, 전술별로 필요한 다양한 모듈을 장착하여 운영할 수 있을 것이다. 셋째, 무기체계 개발, 도입 등 중요한 의사결정에는 특정 분야에 편중되지 않도록 전문가 집단을 구성해야 한다. 본 연구의 결과로 제시한 바와 같이 유무인 협업 공대공 교전을 위한 자율기능의 우선순위 평가에서 조종사와 항공기 개발자 간 관점의 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 자신의 경험, 현재 담당하고 있는 직무에 따라 관점의 차이가 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

전장에서 무인기는 유인기가 하기 어려운 지루하고, 위험한 임무를 대체할 뿐 아니라 유인기의 생존성을 증대시키는 역할을 수행한다. 현재 연구가 활발하게 진행되고 있는 유무인 협업은 이러한 무인기의 역할을 극대화하고, 모자이크전 개념 중 하나인 인간지휘-기계통제의 개념을 실현할 수 있는 현실적인 방안이다. 본 연구에서 제시한 유무인 협업 공대공 교전을 위한 무인기 자율기능 우선순위 도출방법은 향후 심도 있는 연구가 진행될 유무인 협업체계 연구의 초석을 마련하였다는 점에서 학술적, 실천적 의의가 있으며, 폭넓은 연구의 시작점이 될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

This study has been supported by a Research Fund of Agency for Defense Development (UD200021JD).

References

- [1] Cho, K.H. and Jung, H.J., Policy Implications of the Spread on Unmanned Aerial Vehicles in Northeast Asia and the Korean Peninsula, *National Strategy*, 2016, Vol. 22. No. 4, pp. 93-122.
- [2] Choi, M.J., Park, G.U., Koh, D.W., and Jung, B., Study on the Selection of Excellent Air Force Budget Managers Using AHP and Probability Distribution, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 2020, Vol. 20, No. 2, pp. 15 ~ 26. / AHP
- [3] Forster, H., Magee, J., Kramer, J., and Uchitel S., Adatable Software Architectures and Task Synthesis for UAVs, 1st SEAS DTC Technical Conference-Edinburgh 2006. 2006.
- [4] Jung, B., Oh, J., Seol, H., and Hwang, S.I., A Study on the Classification of Autonomous Functions of Unmanned Aircraft Using Delphi Method, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 2021, Vol. 21, No.1, pp. 55-67.
- [5] Jung, B., Oh, J., Seol, H., and Hwang, S.I., A Derived on the Autonomous Function of Manned-Unmanned Aircraft for Collaboration, *Proceedings of the Spring Conference on Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2021, Seoul, Korea, p. 19.
- [6] Jung, B., Yoo, S., Hong, H., Oh, J., and Seol, H., A Study on the Autonomous Function of Unmanned Aircraft for MUM-T, *KASA Fall Conference*, 2021, Jeju, Korea, pp. 40.
- [7] Jung, S. W. and Shim, H. C., A.I. of Self Driving Cars, *Journal of the KSME*, 2017, Vol. 57, No. 3, pp. 42-45.
- [8] Kang, J., Theory and practice of AHP, Inter-Vision Inc, 2008, pp. 12-13.
- [9] Kim, H., Rational management and decision making, Han-Ti Media Inc, 2017.
- [10] Kim, J.K., A review on the development trends and prospects of unmanned fighter jets; Centered on Air-to-Air Unmanned Fighter, *Weekly Defense Discussion 1591*, 2015, pp. 15-44.
- [11] Kim, S.B., Suh, B.S., and Park, S. H., The Future of

the Operation Concept of Unmanned Fighter in the Case of X-47, *Weekly Defense Discussion 1545*, 2014, pp. 14-50.

- [12] Kuan, J., Strategic decision making technique: AHP. Chung-Ram Inc, 2012.
- [13] Lee, S., Marketing decision making using AHP technique, Suck-Jung Inc, 1994, pp. 132-134.
- [14] Park, Y., Decision making by AHP. Kyo-Woo Inc, 2009.
- [15] US Army UAS Center of Excellence., US Army Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035, US Army, 2010.
- [16] US Office of the Secretary of Defense., Unmanned

Aircraft System Roadmap 2005-2030, US Department of Defence, 2005.

- [17] Yun, S.Y. and Park, S.J., A study of foreign military UAV development trend and operational cases for the UAV developments of Republic of Korea Armed Forces, *The Journal of Strategy Studies*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 205-232.

ORCID

Byungho Jung | <https://orcid.org/0000-0002-8071-8383>
Jihyun Oh | <https://orcid.org/0000-0003-0854-1808>
Hyeonju Seol | <https://orcid.org/0000-0001-6953-9766>
Seong In Hwang | <https://orcid.org/0000-0002-4425-397X>