

## 저고도 무인기 교통관리 체계에서 무인기 비행패턴 분류 및 시뮬레이션 모형 개발

### Study on UAV Flight Patterns and Simulation Modelling for UTM

정규서·김세연·이금진\*

한국항공대학교 항공교통물류학과

Kyu-sur Jung · Se-Yeon Kim · Keum-Jin Lee\*

School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

#### [요 약]

본 논문에서는 저고도 무인기 교통관리 체계에서 운용될 무인기의 사용 용도별로 비행패턴을 분석하였고, 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 무인기 비행패턴은 감시형, 선회형, 배송형 패턴으로 분류하였으며, 무인기 사용 용도별로는 농업, 시설 점검, 공공안전 및 보안, 물품 배송으로 총 네 가지 경우를 고려하였다. 또한 저고도 무인기 교통관리 체계에 적용할 공역 운용방식을 검증하기 위한 도구로써 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 모형을 감시형 비행패턴에 적용해 보았으며, 그 결과 정해진 입력을 받아 주어진 비행패턴을 그리며 비행하는 것을 확인 및 검증하였다. 본 시뮬레이션 모형은 향후 무인기가 다양한 비행패턴을 그리며 해당 용도에 맞게 안전하고 효율적으로 운항할 수 있는지 검증하는데 사용될 예정이다.

#### [Abstract]

In this paper, we classified a flight pattern of unmanned aerial vehicle(UAV) which will be operating in UTM system and analyzed its flight pattern by purpose of use. Flight patterns of UAV are sorted into three patterns which are circling, monitoring and delivery. We considered four cases of industry areas using UAV which are agriculture, infrastructure monitoring, public safety & security(p.s.s) and delivery. It is necessary to build a simulation model as a verification tool for applying the flight pattern according to the use of UAV to the real UTM system. Therefore, we propose the simulation model of UAV with updating states over time. We applied simulation to UAV monitoring flight pattern, and confirmed that the flight was done by the given input data. The simulation model will be used in the future to verify that the UAV has various flight patterns and can operate safely and efficiently for the intended use.

**Key word** : Unmanned aircraft system traffic management, Unmanned aerial vehicle airspace operation, Flight pattern, Path planning, Simulation modelling.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.1.13>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 27 December 2017; Revised 19 January 2018

Accepted (Publication) 13 February 2018 (28 February 2018)

\*Corresponding Author ; Keum-Jin Lee

Tel:+82-10-3786-8714

E-mail: keumjin.lee@kau.ac.kr

# 1. 서론

항공 산업 분야에서는 4차 산업혁명의 한 부분으로써 무인기를 활용한 연구 및 개발이 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 무인기에 대한 관심이 높아짐에 따라 무인기의 이용과 수요 또한 증가할 것으로 기대되는 가운데, 무인기가 안전하고 효율적인 비행을 하기 위한 저고도 무인기 교통관리 체계(UTM; unmanned aircraft system traffic management)의 구축 필요성이 대두되고 있다[1],[2]. 특히, 무인기가 비행하는 저고도 공역에는 유인기의 비행이 행해지는 공항 주변 지역, 지상의 건물 등 안전한 거리를 유지하면서 비행해야 할 장애물들이 다수 존재하며, 따라서 무인기의 안전한 비행을 위한 공역 운영(airspace operation) 개념에 대한 연구가 필요하다[3]-[5].

UTM 체계에서 무인기가 비행할 수 있는 공간은 G 등급 공역(비관제 공역)이며, 안전한 운영을 위해 필요한 기능들은 그림 1에서 보이는 것처럼 다양하다. 경로 설정(path planning), 지형적 경계 설정(geo-fencing), 공역 내 감시 기능(monitoring) 및 이착륙장 설정(designating landing and take-off area) 등의 여러 기능이 합쳐져 안전을 보장할 수 있는 UTM 체계가 구성될 것이다. 무인기는 비행 목적에 따라 비행하는 패턴도 달라지는데, 따라서 공역 운영 개념은 무인기의 비행패턴을 고려해 적절히 설계되는 것이 중요하다.

본 논문에서는 공역 내에서 행해지는 무인기의 비행패턴을 분류하고, 무인기 사용 용도별로 비행패턴을 분석하였다. 또한, UTM 공역 운영개념을 평가하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하고, 이를 분석한 비행패턴에 적용해 성능을 확인하였다.



그림 1. 싱가포르 난양공대 UTM 공역 개념도  
Fig. 1. Concept of UTM airspace by NTU[6].

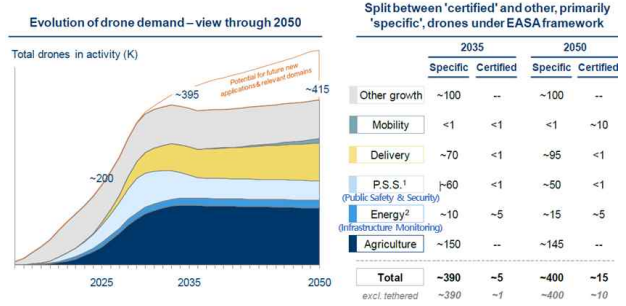


그림 2. 2050년까지의 무인기 수요 예측[7]  
Fig. 2. Demand forecasting of drones through 2050.

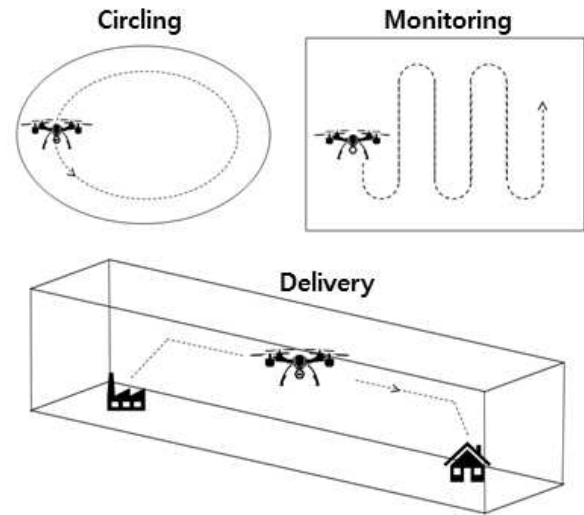


그림 3. 무인기 비행패턴 개념도  
Fig. 3. Concept of UAV flight pattern.

## II. 무인기 비행패턴에 따른 사용 용도별 분석

SESAR(single European sky air traffic management research)에서는 그림 2와 같이 2050년까지 무인기의 용도별 수요를 예측하였다[7]. 크게 농업용, 시설 점검용, 공공 안전 및 보안용 및 배송용의 네 분야에서 무인기의 활용이 높을 것이라 보았으며, 이 네 분야에서의 무인기 수요 또한 상당히 증가할 것으로 예측하였다. 무인기의 비행패턴은 사용 목적에 따라 달라지는데, 그림 3과 같이 선회형, 감시형, 배송형 총 세 종류로 분류할 수 있다[8].

### 2-1 무인기 비행패턴 분류

#### 1) 선회형(circling)

선회형 비행패턴은 무인기가 특정 공간 내에서 특정 임무를 위해 마치 항공기가 공항 주변에서 장주 비행(traffic circuit)을 하듯, 큰 범위로 선회하며 비행하는 특성을 가진 비행패턴이다. 출발지와 목적지가 같으며, 지정된 구역 내에서의 반복적인 비

행 형태의 임무를 수행한다.

### 2) 감시형(monitoring)

감시형 비행패턴은 특정 공간 내에서 특정 대상에 한하여 지그재그 혹은 불규칙적 형태의 반복적인 움직임을 통해 정밀한 감시, 측정 및 측량을 수행하는 비행패턴이다. 선회형 비행패턴과 마찬가지로 출발지와 목적지가 같으며, 지정된 구역 내에서의 반복적인 비행 형태의 임무를 수행한다.

### 3) 배송형(delivery)

배송형 비행패턴은 정해진 출발지에서 목적지로의 최적 경로를 찾아 비행하는 패턴을 갖는다. 선회형 및 감시형 비행패턴과 달리 배송형 비행패턴은 출발지와 목적지가 다르며, 목적지에서 임무를 수행하고 나면, 다시 출발지로 돌아오는 왕복 비행 형태를 보인다. 또한 배송형 비행패턴은 침범해서는 안 되는 구역을 피해서 비행하여야 하고, 선회형 및 감시형 비행패턴보다는 상대적으로 최적 경로를 통한 직진 비행의 빈도가 높을 것이다. 따라서 배송형 비행패턴은 무인기 조종사의 가시거리 밖(BVLOS; beyond visual line of sight)에서 비행할 가능성이 높으며, 패턴 특성상 인구 밀집이 높은 도심 지역에서 많이 이용될 것이다.

## 2-2 무인기 사용 용도별 비행패턴

### 1) 농업용(agriculture)

농업용 무인기는 감시형 비행패턴의 궤적을 그릴 것이다. 농작물 최적 수확을 위해 더 정확하고 정밀하게 농작물을 관리하는 용도로 무인기를 사용할 수 있다. 지그재그의 감시형 비행패턴을 통해 농작물에 대한 지속적인 모니터링이 가능하며, 이를 통해 생산성 및 품질을 극대화할 수 있다. 또한 홍수와 가뭄과 같은 재해의 피해를 최소화시킬 수 있도록 농작물을 관리하는 역할도 수행할 수 있다. 특히, 무인기를 이용하여 그림 4와 같은 비행패턴으로 농작물에게 비료나 수분 공급을 한다면, 기존의 트랙터를 이용한 방식보다 더 효율적으로 작업을



그림 4. 농업 분야에서의 무인기 비행 패턴 (감시형)[9]  
Fig. 4. Flight pattern of UAV in agriculture industry (Monitoring).

할 수 있다.

### 2) 시설 점검용(infrastructure monitoring or energy)

배수관, 석유 수송관, 도로 및 철도 시설 등 다양한 시설을 감시하고 점검하는 기능으로 무인기를 사용할 수 있다. 따라서 시설 점검 무인기의 비행패턴은 비행 목적에 따라 선회형과 감시형 비행패턴을 취할 것이다. 구조물 또는 시설물과 같이 넓은 범위에서 감시하는 것을 목적으로 하는 경우, 선회형 비행패턴을 통해 전체적 상황을 한눈에 파악할 수 있다. 한편, 각종 시설물의 부식, 고장 등을 점검하는 경우에도, 감시형 비행패턴을 통해 점검하고자 하는 부분을 정확하게 검사할 수 있다.

### 3) 공공안전 및 보안용(public safety & security)

공공안전 및 보안용 무인기는 선회형과 감시형 비행패턴을 가질 것이다. 선회형 비행패턴일 경우 무인기를 사고, 재해 및 위험 지역에 띄워 선회하면서 신속하고 정확한 정보를 실시간으로 수집할 수 있다. 그리고 범죄와 테러가 발생한 경우 무인기를 통해 일정 거리를 선회하면서 상황을 지켜볼 수 있다. 한편, 열 감지 카메라 및 방사능 수치 측정기와 같이 특수 기능을 탑재한 무인기는 업무 수행범위 내에서 경찰과 소방관 등이 상황에 더 신속하게 대처할 수 있도록 불규칙한 감시형 비행패턴을 그리며 임무를 수행할 수 있다. 또한 무인기가 수색 및 구조를 하는 경우, 감시형 비행패턴을 따라 비행하며, 인명 및 동물을 수색하고 필요에 따라 구조를 위한 도구를 전달할 수 있다.

### 4) 물품 배송용 (delivery)

향후 물품 배송용 무인기는 지상의 장애물 및 주변의 무인기들을 피하면서 비행을 하고, 공중 배송을 통하여 소비자에게 물품을 신속하게 전달해 줄 수 있는 역할을 할 것으로 기대된다. 물품 배송용 무인기는 배송형 비행패턴을 가질 것인데, 특정 물품을 목적지에 배송하고, 배송이 완료된 후에는 다시 출발지로 돌아오는 형태를 가질 것이다. 비행 전에는 미리 비행할 최적 경로를 정하고, 비행 중에는 실시간으로 변하는 교통 및 공역 상황을 반영하여 비행 전에 계획한 비행경로를 준수할지 혹은 비행경로를 재설정할지 판단하면서 임무를 수행할 것이다.

## III. 시뮬레이션 모형

### 3-1 개요

UTM 공역 운영 개념을 설계하고 평가하기 위해서는 적절한 시뮬레이션 모형이 필요하다. 본 논문에서는 한 대의 무인기에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 이를 앞서 분석한 저고도 무인기 주요 비행패턴 중 한 가지에 적용해 보았다. 그림 5와

같이 무인기의 종류는 크게 고정익 무인기(fixed-wing UAV)와 회전익 무인기(multi-rotor UAV)로 분류할 수 있는데, 본 논문에서는 고정익 무인기를 기준으로 하여 시뮬레이션을 진행하였다[10].

그림 6에 나타난 바와 같이, 무인기 조종사로부터의 입력 명령이 주어지면 무인기의 상태변수가 변화하게 되며, 무인기의 상태변수는 방위각( $\psi$ ), 속도( $v$ ), 고도( $h$ ), 수평 위치( $X, Y$ )로 정하였다. 상태변수는 식(1)과 같이 업데이트된다.

$$\begin{aligned} \dot{\psi} &= \frac{\tan \phi \times g}{v} & (1) \\ \dot{v} &= a \\ \dot{h} &= v \sin(\gamma) \\ \dot{X} &= v \cos(\psi) \cos(\gamma) - v_w \cos(\psi_w - \pi) \\ \dot{Y} &= v \sin(\psi) \cos(\gamma) - v_w \sin(\psi_w - \pi) \end{aligned}$$

여기서  $\gamma$ 는 비행경로 각(flight path angle)을 의미하며, 무인기의 속도와 수평면에 이루는 각도로 정의된다.  $\phi$ 는 항공기의 뱅크각(bank angle)을 의미하고,  $v_w$ 와  $\psi_w$ 는 각 풍향과 풍속을 나타낸다. 무인기에 주어지는 입력은 방위각, 속도, 고도에 대한 목표치( $I = \{\psi_r, v_r, h_r\}$ )를 지정하는 방식을 사용하였으며, 입력 명령에 따라  $\phi, a, \gamma$ 는 아래와 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \phi &= \begin{cases} \pm 30 & (\text{if } |\psi - \psi_r| > \Delta_\phi) \\ 0 & (\text{if } |\psi - \psi_r| \leq \Delta_\phi) \end{cases} & (2) \\ a &= \begin{cases} \pm 0.2 & (\text{if } |v - v_r| > \Delta_v) \\ 0 & (\text{if } |v - v_r| \leq \Delta_v) \end{cases} \\ \gamma &= \begin{cases} \pm 25 & (\text{if } |h - h_r| > \Delta_r) \\ 0 & (\text{if } |h - h_r| \leq \Delta_r) \end{cases} \end{aligned}$$



그림 5. 고정익 무인기와 회전익 무인기  
Fig. 5. Fixed-wing UAV and multi-rotor UAV.

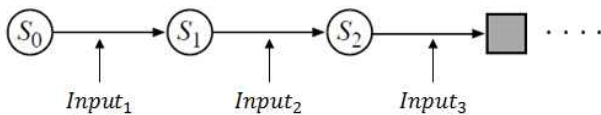


그림 6. 무인기 상태 변화  
Fig. 6. UAV state transition diagram.

유인기와 무인기의 평균 순항속도가 각각 500노트, 50노트 임을 고려했을 때, 무인기의 속도의 변화율은 유인기의 1/10 정도인 0.2(NM/s<sup>2</sup>)로 설정하였다[11],[12]. 또한, 비행경로 각은 25도로 설정하였고[13], 뱅크각  $\phi$ 은 30도로 하였다. 향후 무인기의 비행성능에 대해 보다 면밀한 연구를 통해 위의 수치들에 대한 정산(calibration) 작업이 필요할 것이다.

항공기 TEM(total energy model)에 따르면, 속도와 고도변화율은 항공기의 추력 및 항력에 따라 식(3)과 같이 연관되어 있다[14].

$$(T - D)v = mg_0 \frac{dh}{dt} + mv \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

여기서  $T$ 는 추력,  $D$ 는 항력,  $m$ 은 항공기 중량을 나타낸다. 식(3)을 이용하면, 고도 및 속도 변화율이 주어졌을 때, 추력  $T$ 를 계산할 수 있다. 반대로 무인기의 상승 및 하강 단계에서의 추력 세팅을 고정한 후, 주어진 속도 변화율에 따라 고도 변화율을 계산하는 데 식(3)을 사용할 수도 있다. 하지만, 앞서 설명한 바와 같이, 본 시뮬레이터에서는 무인기의 속도 변화율 및 상승/하강률을 식(2)와 같이 사전에 정의된 값을 사용하며, 따라서 식(3)은 무인기의 추력을 계산하는 데 사용한다. 여기서 항력  $D$ 는 아래와 같이 계산한다.

$$C_L = \frac{2mg_0}{\rho v^2 S \cos \phi} \quad (4)$$

$$C_D = C_{D0} + C_{D2}(C_L)^2 \quad (5)$$

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 S \quad (6)$$

### 3-2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 무인기의 감시형 비행패턴을 대상으로 진행하였다. 그림 7과 같이 좌표 (0, 0)에서 출발하는 무인기는 주어진 입력에 따라 10초 단위로 방위각, 속도, 고도 및 위치를 바꾸어 가면서 이동한다. 무인기가 반복적으로 움직이면서 목적지 좌표 (0, 0)로 다시 돌아오면 시뮬레이션이 종료되고, 총 75번의 입력을 주어 750초 동안 시뮬레이션이 진행된다. 본 시뮬레이션에서 바람은 없는 것으로 가정하였다.

무인기의 위치는 시뮬레이터 상에 5초에 한 번씩 업데이트 되어 나타나고, 그 과정은 그림 8과 같다. 또한, 비행시간에 따른 무인기의 상태변수는 그림 9와 같다. 그림 9에서 각 그래프의 x축은 비행시간을 나타내며, y축은 순서대로 X 좌표, Y 좌표를 나타낸다.

본 연구에서는 주어진 heading, 속도, 고도 입력에 따라 무인기 상태변수가 적절히 변화하며 필요한 비행패턴을 그리는 것을 확인하였다. 향후 무인기의 비행성능을 고려해 뱅크각, 가속도, 비행경로 각에 대한 정산 작업을 진행한 후, 시뮬레이션 결과가 실제와 얼마나 일치하는지 보다 면밀한 검증을 진행할 예정이다.

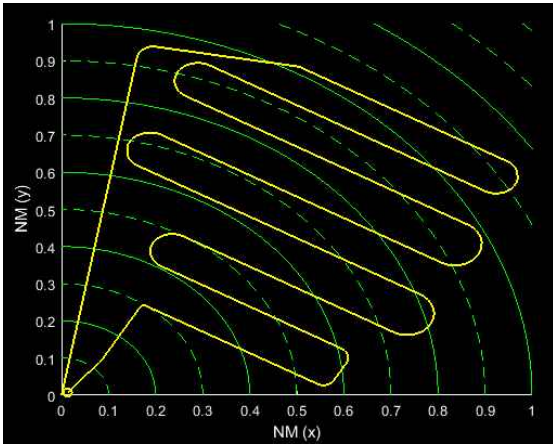


그림 7. 시뮬레이션 결과 무인기의 궤적  
Fig. 7. Simulation result: Trajectory of UAV.

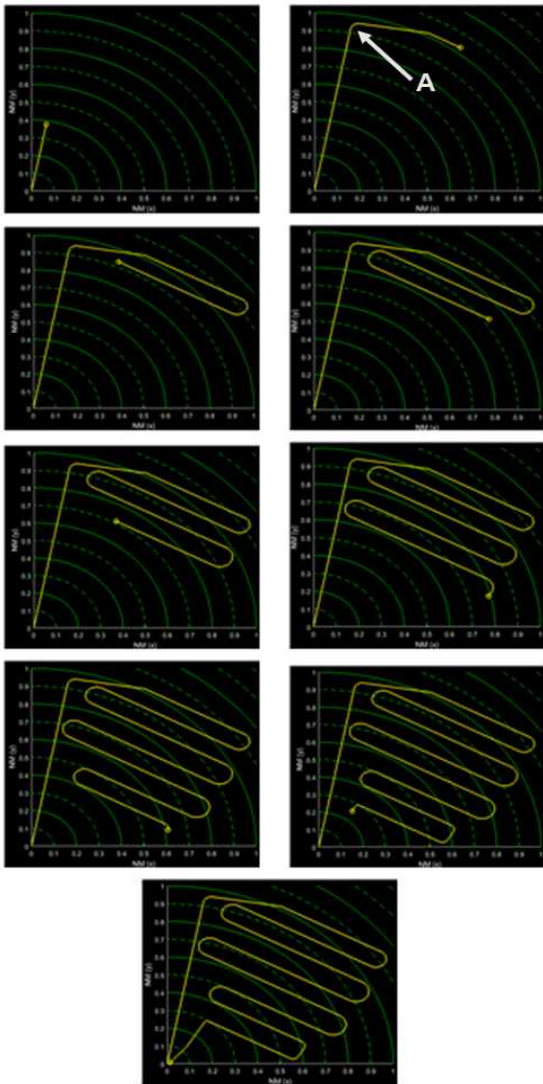


그림 8. 시뮬레이션 결과 단계별 무인기 궤적  
Fig. 8. Simulation results: stepwise trajectory.

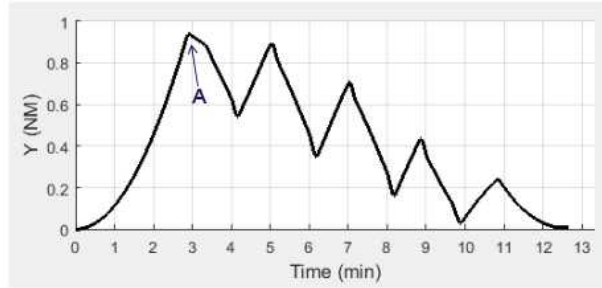
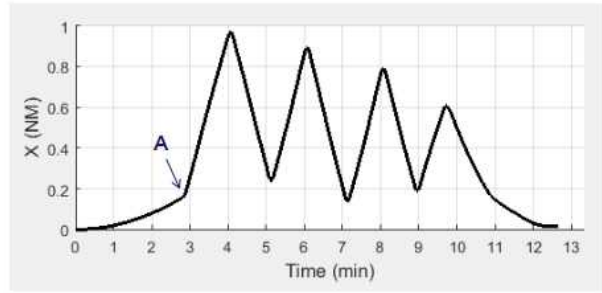


그림 9. 비행시간에 따른 무인기 좌표  
Fig. 9. Simulation result: X and Y coordinates.

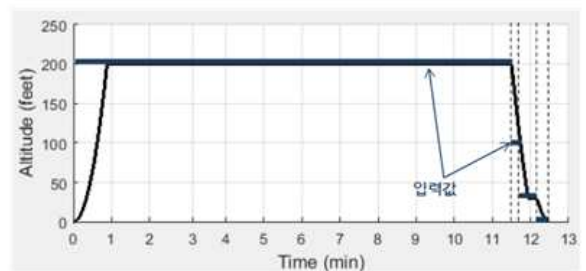
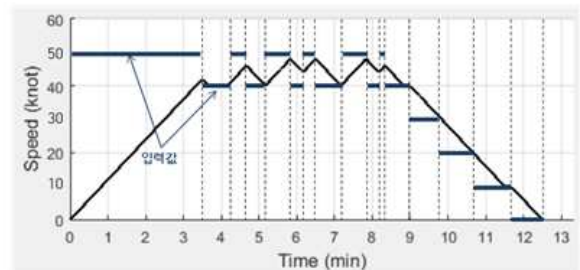
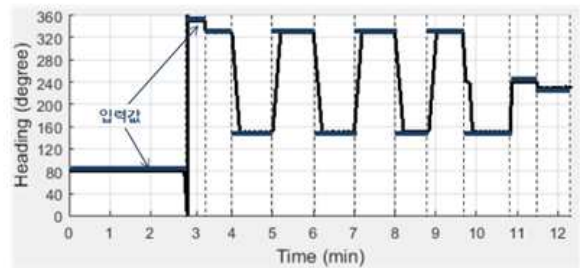


그림 10. 비행시간에 따른 무인기 방위각, 속도, 고도  
Fig. 10. Simulation result: Heading, Speed and Altitude.

그림 8과 9에서 볼 수 있듯이, 무인기가 A 지점에 도착할 때까지 X 좌표와 Y 위치는 계속해서 증가하다가, 그 후 지그재그 형태의 비행을 하게 되면서 좌푯값이 증가와 감소를 반복하게 된다. 그림 10은 무인기의 방위각, 속도, 고도가 시간에 따라 변화하는 것을 입력값과 함께 보여주고 있다. 비행시간에 따른 방위각 그래프의 경우, 무인기는 처음에 방위각을 80도로 유지하며 비행하다가 350도로 명령을 받게 되면 시계방향으로 회전을 하여 350도에 도달하는 모습을 볼 수 있다. 또한, 그림에서 알 수 있듯이 무인기의 방위각이 변경될 때에는 속도를 낮추어 방위각의 변화율을 더 크게 하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 무인기의 사용 용도별 비행패턴을 분석하고, 시뮬레이션 모형을 통해 간단히 구현해 보았다. 무인기의 비행 패턴은 선회형, 감시형, 배송형으로 나눌 수 있고, 앞으로 수요가 많을 것으로 예상되는 농업, 시설 점검, 공공안전과 보안, 물품 배송 분야별 비행패턴을 분석하였다. 주요 비행패턴 중 감시형 비행패턴을 대상으로 시뮬레이션 모형을 제시하였다. 일정한 시간 간격의 입력을 바탕으로 하나의 무인기가 상태를 변화하면서 감시형 비행패턴으로 비행하는 궤적을 생성하는 것을 확인하였다.

시뮬레이션 모형은, 향후 UTM 공역 내에서 무인기가 다양한 비행패턴을 그리며 해당 용도에 맞게 안전하고 효율적으로 운항할 수 있는지 검증하는데 사용될 예정이다. 따라서 향후 연구에서는 무인기의 무게나 기상조건 및 장애물 등 무인기의 성능과 비행환경에 영향을 미치는 요인을 고려해 모형을 개선할 필요가 있다. 또한, 감시형 비행패턴 외에도 선회형, 배송형 비행패턴을 적용한 시뮬레이션을 진행하여야 할 것이다.

#### Acknowledgments

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “무인비행장치의 안전운항을 위한 저고도 교통관리체계 개발 및 실증시험” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### References

[1] P. Kopardekar, J. Rios, T. Prevot, M. Johnson, J. Jung, and J. E. Robinson III, “Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations,” in *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation Conference*, Washington D.C, 2016.

[2] Global UTM Association. UAS Traffic Management

Architecture [Online]. Available: [https://www.gutma.org/docs/Global\\_UTM\\_Architecture\\_V1.pdf](https://www.gutma.org/docs/Global_UTM_Architecture_V1.pdf)

[3] E. Sunil, J. Hoekstra, J. Ellerbroek, F. Bussink, D. Nieuwenhuisen, A. Vidosavljevic, and S. Kern, “Metropolis: Relating airspace structure and capacity for extreme traffic densities,” in *11th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, Lisbon: Portugal, 2015.

[4] K. H. Low, L. Gan, and S. Mao, “A preliminary study in managing safe and efficient low-altitude unmanned aircraft system operations in a densely built-up urban environment,” in *International Symposium on Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications*, Berlin: Germany, 2016.

[5] K. S. Jung, and K. J. Lee, “A method of implementing geo-fence to be operated under UTM(unmanned aircraft system traffic management) in lower altitude,” in *The Korean Navigation Institute 2017 Conference*, Seoul: Korea, pp. 315-317, 2017.

[6] NTU(Nanyang technological university). NTU’s Traffic Management of Unmanned Aircraft Systems(TM-UAS) Programme [Online]. Available: <http://atmri.ntu.edu.sg/TMUAS/Pages/Infography.aspx>

[7] SESAR. European Drone Outlook Study [Online]. Available: [http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](http://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf)

[8] G.Zhu, and P. Wei, “Low-altitude UAS traffic coordination with dynamic geofencing,” in *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation Conference*, Washington D.C, 2016.

[9] YAMAHA. Precision agriculture with Yamaha rMax helicopter [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ydfPzqaNkuA>

[10] S. Y. KIM, and K. J. Lee, “Design of arrival aircraft simulation model with machine learning,” in *The Korean Navigation Institute 2017 Conference*, Seoul: Korea, pp. 433-435, 2017.

[11] Wikipedia. Boeing 777 [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_777#Specifications](https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_777#Specifications)

[12] UAVER. Swallow-P Aerial Mapping [Online]. Available: <http://www.uaver.com/swallow-p-aerial-mapping.html>

[13] A. Chakrabarty, and J. W. Langelaan, “Flight path for UAV atmospheric energy harvesting using heuristic search”, in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, Toronto: Ontario Canada, 2011.

[14] A. Nuic, User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.12, EUROCONTROL Experimental Centre, EET Technical/Scientific Report No.14/04/22-44, 2014.



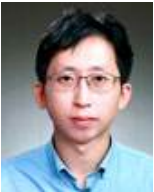
**정 규 서 (Kyu-sur Jung)**

2017년 2월: 한국항공대학교 항공교통물류학부 (이학사)  
2017년 3월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정  
※ 관심분야: 항공교통관리, 무인기 교통관리체계, 공역설계



**김 세 연 (Se-Yeon Kim)**

2017년 8월: 한국항공대학교 항공교통물류학부 (이학사)  
2017년 9월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정  
※ 관심분야: 항공교통관리, 시뮬레이션 모델링, 강화학습



**이 금 진 (Keum-jin Lee)**

1999년 2월: 서울대학교 기계항공우주공학부 (공학사)  
2001년 2월: 서울대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
2008년 5월: 미국 조지아 공과대학교 항공우주공학과 (공학박사)  
2012년 3월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공교통물류학과 부교수  
※ 관심분야: 항공교통관리, 데이터기반 항공관제 모델링 및 제어