

## 드론 물류 서비스 상용화를 위한 항로 최적화 모델 시뮬레이션 연구

The Study on Simulation of The Air Route Optimization Model For Commercialization of Drone Logistics Service

---

저자 (Authors)	김용하, 윤영진 Kim, YongHa, Yoon, YoungJin
출처 (Source)	<a href="#">서비스경영학회지 19(1)</a> , 2018.3, 223-243(21 pages) <a href="#">Journal of Korea Service Management Society 19(1)</a> , 2018.3, 223-243(21 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국서비스경영학회</a> The Korea Service Management Society
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07411291">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07411291</a>
APA Style	김용하, 윤영진 (2018). 드론 물류 서비스 상용화를 위한 항로 최적화 모델 시뮬레이션 연구. 서비스경영학회지, 19(1), 223-243
이용정보 (Accessed)	이화여자대학교 203.255.***.68 2020/01/27 13:51 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 드론 물류 서비스 상용화를 위한 항로 최적화 모델 시뮬레이션 연구

김 용 하(제 1 저자)  
건양대학교 병원경영학과

윤 영 진(교신저자)  
상명대학교 경영학부

## The Study on Simulation of The Air Route Optimization Model For Commercialization of Drone Logistics Service

Kim, YongHa(First Author)  
Department of Hospital Management, Konyang University

Yoon, YoungJin(Corresponding Author)  
Business Administration, Sangmyung University

### Abstract

In this study, we propose a method to generate optimized route for logistics service drones through the route optimization model applying SBAS technology and the simulation analysis for model application. The results of this study can be used to develop safe and accurate logistics service business model in commercialization of drone logistics service in the future. It is also expected to be useful in the development of new technologies for drone logistics services such as the utilization of SBAS technology and the optimal algorithm of drone flight in the whole drones industry.

We also verified the usefulness of the designed model by developing simulator. Simulation results show that drone applying SBAS has excellent results in terms of accuracy, speed and reliability compared to drones applying GPS in total distance, total flight time, and outage rate of drone which is the main criteria of drone logistics service provision. This implies that the application of SBAS technology is reasonable when developing and operating the drone logistics service in the future, and proved that the key criteria of the model presented in the research can be usefully applied in the field.

*Keywords:* SBAS, Drone Logistics Service, Air Route Optimization model, Commercialization of Drone Services

(접수일: 2018.03.07, 수정일: 1차, 2018.03.16, 게재확정일: 2018.03.26)

## I. 서론

최근 드론(무인항공기) 관련 산업은 미래 교통 및 물류, 국방, 우주 및 항공 등 광범위한 분야에서 미래를 이끌 신산업으로 주목받고 있다. 드론은 20세기 초 군사용으로 개발된 이래 하드웨어를 비롯하여 드론제어 및 탐지, 회피 등 정보통신과 SW, 응용기술과 융합한 다양한 핵심기술의 발전으로 급격하게 대중화되고 있다. 특히 아마존과 구글, DHL 등 선진 글로벌 기업을 필두로 물류 서비스 분야에서 드론을 활용하는 사례가 늘어나고 있다.

드론은 무인비행 기술을 이용하여 기존 물류 서비스 대비 신속하고 정확한 물류 서비스 제공이 가능하다는 장점으로 인해 택배 서비스용 드론에서부터 화물용 대형 무인항공기에 이르기까지 상업적 물류 서비스 제공 및 상용화를 위한 연구개발이

활발하게 진행되고 있다. 그러나 물류 서비스 드론의 상용화를 위해서는 드론의 무인이동을 위한 통신/항법/교통관리 기술 및 드론 제어와 탐지/회피 기술, 센서 기술, S/W 및 응용기술 등 정보통신 기술과 융합된 다양한 핵심기술의 개발이 요구된다. 이러한 핵심 기술 중 정확하고 안전한 상업용 물류 서비스 제공에는 정밀한 위성항법시스템과 위치정보기술이 가장 중요하다. 그러나 현재의 위치정보시스템인 GPS는 17~37m에 이르는 오차 발생으로 정확도 및 신뢰성 측면에서 드론의 정확한 위치 정보를 제공하지 못하고 있다.

안전이 중시되는 항공분야에서는 GPS의 고장이나 오작동시 이용자에게 경고를 하여 주는 무결성 기능을 갖춘 보강시스템이 매우 중요하다. 이를 위해 국제민간항공기구(ICAO)는 정확하고 신뢰성이 높은 위치 정보를 제공하는 SBAS(Satellite Based

Augmentation System)를 국제표준화 하고 2025년까지 전 세계 운용을 목표로 각 국에 개발 및 적용을 권고하고 있다. 정밀한 위치정보 시스템 구축은 항공운항의 안전을 위한 필수 시스템이며, 물류 배송 등에서도 정확한 위치 정보 제공을 위해 선결되어야 할 과제이다.

따라서 본 연구에서는 SBAS 기술을 적용한 항로 최적화 모델과 모델 적용을 위한 시뮬레이션 분석을 통해 물류 서비스 드론의 최적화 항로 생성 방법을 제시하였다. 연구의 결과는 향후 드론 물류 서비스 상용화 시 안전하고 정확한 물류 서비스 사업 모델 개발에 활용할 수 있을 것이다. 또한, 드론 산업 전반에서 SBAS 기술의 활용 및 드론 비행의 최적 알고리즘을 구성 등 드론 물류 서비스를 위한 새로운 신기술 개발 시에도 유용할 것으로 기대된다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 드론의 정의

드론은 일반적으로 ‘무인항공기(Unmanned Aircraft)’의 일종으로 정의된다. 무인항공기의 개념은 1944년 체결한 국제민간항공조약<sup>1)</sup>에서 등장하는데, 해당 협약 제8조에는 무인항공기를 ‘무조종자항공기(Pilotless

aircraft)’로 표기하고 있으며, 본문에서는 “Aircraft capable of being flown without a pilot” 즉, “조종자 없이 비행할 수 있는 항공기”, 또는 “Aircraft without a pilot”, “조종자 없는 항공기”라고 기술하고 있다.

이후 2003년에 캐나다 몬트리올에서 개최된 11차 항공회의에서는 다음과 같이 범세계적인 ATM(Air Traffic Management) 운용 개념을 승인하면서 무인항공기를 새롭게 정의하였다. 회의에서는 무인항공기(An unmanned aerial vehicle)를 “1944년 시카고협약 제8조가 규정하는 무조종자 항공기(Pilotless aircraft)로서, 항공기상에 지장이 없이 비행하고 또 다른 장소(예, 지상, 또 다른 항공기, 상공)에서 원격으로 통제되거나 프로그램에 의해 완전히 자율적으로 비행하는 항공기”로 규정했다. 이러한 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles: UAVs)에 대한 정의는 2004년 제35차 국제민간항공기구(ICAO) 총회에서 승인되면서 국제적으로 일반화되었다.

2015년에 국제민간항공기구(ICAO)는 원격조종항공기 시스템에 관한 매뉴얼(Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems)을 발간하면서 “UAV(Unmanned Aerial Vehicle)”는 오래된 용어(Obsolete term)로 더 이상 사용하지 않으며 대신 “무인항공기(Unmanned aircraft)”라는 표현을 사용한다고 명시하고 있다. 결국 드론은 무인항공

1) 국제 민간항공이 발달하면서 각국과 국민 간에 있어서의 마찰을 피하고 협력을 촉진하기 위해 체결한 국제조약으로 국제 민간항공이 안전하고 정연하게 발달하고, 국제항공운송업체가 기회를 균등하게 보장받아 건전하고 경제적으로 운영되도록 하기 위한 일정 원칙과 기준을 제시하고 있다. 1944년 시카고 국제회의에서 채택된 민간항공 운영을 위한 기본조약으로 연합국과 중립국 52개국이 체결하였으며, 일명 시카고조약, 시카고협약이라고도 한다.

기의 일종으로 원격 조종이든 완전 자율이든 아니면 원격조종과 자율을 혼합한 것이든 관계없이 1944년 시카고 협약 제8조의 적용을 받는 “무조종자 항공기”로 “조종자 없이 비행할 수 있는 항공기”, 또는 “조종자 없는 항공기”라고 정의할 수 있다(권기범 외 3인, 2017).

## 2.2 드론의 핵심기술 요소

드론의 종류는 비행 방법에 따라 고정익 드론과 회전익 드론으로 나뉘는데(주진 외 8명, 2015), 물류 서비스에 사용되는 드론은 대부분 회전익 방식이며, 날개 개수에 따라 4개는 쿼드콥터(quad-copter), 6개는 헥사콥터(hexa-copter), 8개는 옥타콥터(octa-copter) 드론 등으로 구분한다. 또한, 드론은 조종 방식에 따라 별도의 통제실 또는 관제실에서 탑승자의 관점으로 조종(Internal Pilot)시점을 제공하는 방식과 사용자가 드론을 바라보며 조종하는 외부 조종(External Pilot) 방식이 있다. 물류 목적의 드론의 경우 비시계 조종 즉 지상통제소를 운영하는 방식을 채택하고 있으며 이에 따라 GPS(Global Positioning Systems : 위성항법장치)를 통한 항공좌표 비행과 원거리 비행을 위한 가솔린 등 연료 엔진을 적용하는 것이 일반적이다.

이와 같은 이유로 물류 서비스용 드론은 지상통제소의 설치 및 운영이 필요한데, 지상통제소는 지상에서 스마트드론을 통제하기 위한 시설 일체를 말하며 드론의 조종실 역할, 비행경로 입력, 비행조종 명령, 각

종 탑재 장비제어 등의 임무를 수행한다.

무인항공기는 조종사가 탑승하지 않기 때문에 오히려 사람이 탑승하여 직접 조종하는 유인항공기에 비해 통신량이 많을 수밖에 없으므로 더욱 체계적이고 안전한 통신시스템이 요구된다. 무인항공기의 경우 통신두절 시 비행체를 잃어버리거나 비행체 낙하로 인한 인적·물적 피해를 발생시킬 수 있으므로 통신두절 시 비행체 회수 방안 및 통신장비 이중화 등이 필요하다.

통신은 지상통제시스템과 비행체를 직접 연결하는 가시선(LOS : Line of Sight) 통신과 장애물로 인해 가시선통신이 불가능할 경우 위성 등을 활용하는 비가시선(BLOS : Beyond Line of Sight)으로 구분할 수 있다. 또한, 통신은 지상에서 무인항공기 비행체 탑재장비로 명령과 제어신호를 전송하는 상향링크(Up-link)와 비행체에서 지상으로 비행체의 상태 및 각종 센서 데이터를 전송하는 하향링크(Down-link)로 구성된다.

물류 서비스 목적의 드론 운용을 위한 핵심 기술에는 항공 무인이동체 제어 및 탐지 / 회피 기술, 항공 무인이동시스템 S/W 및 응용기술 등이 있으며, 자세한 내용은 <표 1>과 같다.

## 2.3 물류 서비스 드론과 SBAS

물류 서비스를 위한 상용 드론은 신속성, 효율성, 안정성, 경제성 등의 운영 상 필요한 여러 요건을 충족해야 한다. 국내에서는 물류 서비스 등 다양한 분야에서 드론의 기

〈표 1〉 물류 서비스용 드론의 핵심 기술

구분	장점
항공 무인이동체 제어 및 탐지 / 회피 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항공 무인이동체의 이착륙과 비행제어 및 자율화 향상기술</li> <li>- 안전한 비행과 임무수행을 위해 다른 비행체나 물체 등의 위험요소를 탐지하고 충돌을 회피하는 기술</li> </ul>
항공 무인이동시스템 센서 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항공 무인이동체의 안전한 운항지원 및 임무 수행을 위한 센서와 이를 적용하는 기술</li> </ul>
항공 무인이동시스템 S/W 및 응용기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항공 무인이동체의 제어 및 임무 수행을 위한 고신뢰 실시간 OS와 Interoperability지원 개방형 S/W 플랫폼 및 표준인터페이스 기술</li> <li>- 무인 이동체가 수행하게 될 특정한 임무 수행을 위해 필요한 탑재체 기술 및 빅데이터 처리 등의 기술</li> </ul>
항공 무인이동체 플랫폼기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다기능 초경량 소재 및 구조물 기술, 무인기기 형상 변형 구조 기술</li> <li>- 무인기 Actuator 및 기계/전기 기술, 다학제 설계/설계자동화 기술</li> </ul>
항공 무인이동체 동력원	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 친환경 고성능 / 고효율 동력원 기술</li> <li>- 경량 고에너지 밀도 2차 전지 및 고효율-고속응답 전기모터</li> </ul>

자료 : 한국특허정보원, 2017

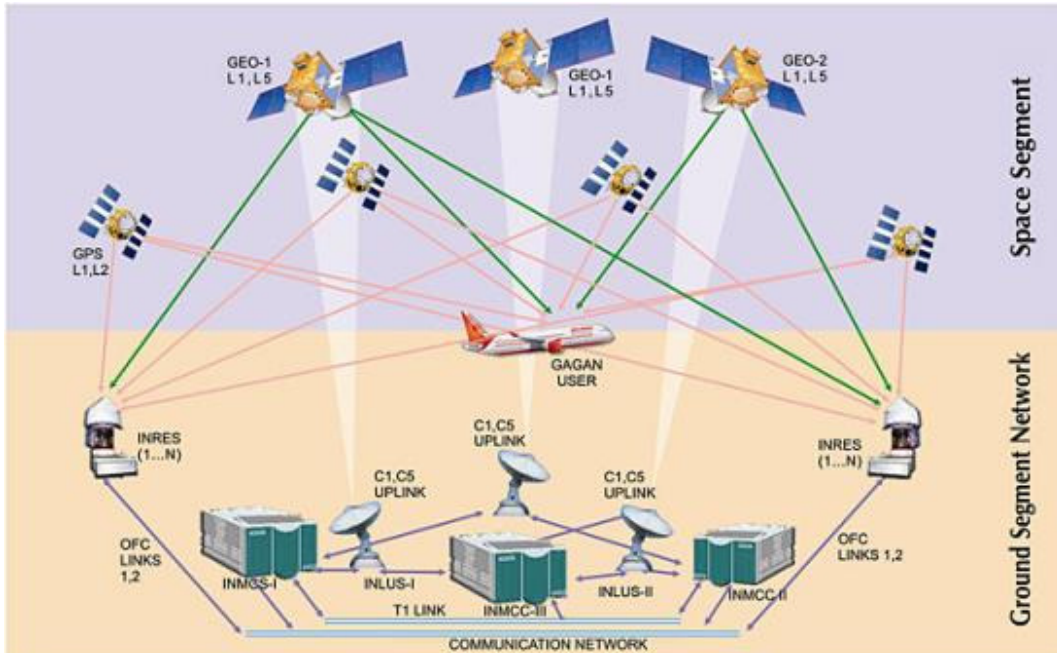
술 수준이 상용화 단계에 접어든 것으로 알려져 있지만 아직 만족할만한 수준에는 이르지 못한 것이 현실이다. 물류 서비스를 위한 여러 자연적 환경 극복과 이륙, 착륙, 자율 비행 등과 관련된 기술 개발은 아직 실험 수준의 성과를 거두고 있는 실정이다. 물류 서비스 드론의 상용화를 위해서는 특히 드론의 정확한 제어 기술과 이를 위한 위치정보 측정 기술이 매우 중요하다.

물류 서비스 드론의 원활한 운용을 위해서는 비시계 방식의 자율 비행이 반드시 수반되어야 하는 바, 드론 비행 기술의 신뢰성과 정확성, 안정성 측면에서 신뢰할 만한 기반 기술 요건이 담보되어야 하나 현재의 GPS 기술로는 이러한 기술적 과제를 충족시키기 어렵다. 또한 충분한 충돌 방지 안전공간을 확보하여야 하기 때문에 최정밀

위치정보에 비하여 최적화된 비행과 다수 드론이 협력 비행하는 편대 비행에는 한계가 있다.

SBAS(Satellite Based Augmentation System, 위성기반 위치보정시스템)는 GPS의 오차를 줄여주는 초정밀 위성항법 기술로 지표 50km 부근에 전리층에 영향으로 굴절되는 GPS 신호로 인한 오차(17~37m)를 보정하기 위해 정지궤도위성과 지상의 기지국을 활용한다. SBAS는 GPS의 위치정보 오차를 약 3m 이하까지 줄일 수 있다. SBAS에서는 GPS 정보의 오차를 줄이기 위해 위성의 신호를 GPS위성-지상 기준국-중앙처리국-정지궤도위성-수신기의 순서로 전송하며 위치정보의 오차 값을 수정한다. 안테나 시설을 갖춘 지상기준국은 약 30개 이상의 GPS위성과 실시간으

〈그림 1〉 SBAS 구성도



자료: Sunda et al., 2015

로 정보를 주고받으며, 한 장소에 고정되어 있는 지상기준국과 정지궤도위성의 위치 정보를 활용하여 위치정보를 보정하는 기능을 수행한다.

우리나라에서도 SBAS 기술을 개발·적용하기 위한 한국형 위성항법보강시스템 기술개발 사업을 2014년부터 추진하고 있으며<sup>2)</sup>, 향후 항공기의 정확한 위치 파악을 통한 사고 및 지연, 결항감소 등 항공 교통 분야와 네비게이션 및 응급 구조 등 스마트 교통 시스템 구축, 드론 물류 서비스 등 다

양한 분야에 활용될 것으로 기대하고 있다.

### Ⅲ. 시뮬레이션 모델 및 실험 방법

#### 3.1 드론 비행 최적 경로 생성 시뮬레이션 모델 개발 및 설계

물류 서비스용 드론은 자율 주행을 위한 정확한 위치정보 입수 및 이를 바탕으로 한

2) 국토교통부 및 해양수산부에서는 한국형 초정밀 GPS 보정시스템인 KASS(Korean Augmentation Satellite System) 개발사업을 1,280억 원의 예산으로 2014년부터 추진하고 있으며, 2017년 말 현재 시스템 설계 및 통합 작업을 진행하고 있다.(관련자료: <http://www.kass.re.kr>)

〈표 2〉 시뮬레이션 설계 시 적용 기준

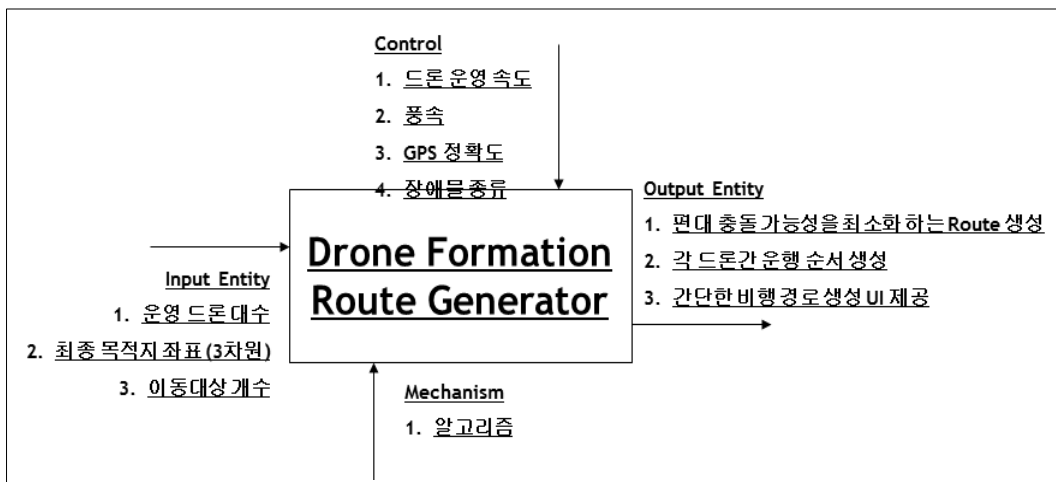
구분	세부 내용
총 비행 거리	총 비행 거리는 모든 비행 드론이 모든 물품을 목적지에 배송하기 위해서 이동한 3차원 거리를 모두 합한 값이다.
총 비행 시간	총 비행 거리는 모든 비행 드론이 모든 물품을 목적지에 배송하기 위해서 이동하는 데 소모한 모든 시간이다. 즉, 첫 번째 드론이 이륙하고 마지막 드론이 착륙할 때까지의 시간을 의미한다.
오배송률	오배송률은 착륙지점을 반지름 5m인 원형 형태로 정의하고, GPS 기반의 드론과 SBAS 기반의 드론이 해당 원형 안에 드론의 중심 부분이 들어갈 확률을 오배송률로 정의한다.

비행경로 수립 기술이 적용되어야 한다. 따라서 일반 GPS 위치정보를 적용한 드론 대비 SBAS를 적용한 드론은 위치정보에 대한 오차 값이 자율 비행 및 드론 물류 서비스 제공이 가능한 수준으로 낮아져야 한다. 따라서 본 연구에서는 물류 서비스 드론의 비행 경로 계획 수립 시뮬레이션을 통해서 일반 GPS 적용 드론과 SBAS 적용 드론간의 상대적인 차이 및 효과를 입증하기 위한 시뮬레이터 개발을 진행하였다. 시뮬레이

터는 특정 위치에서 고층 건물의 특정 장소에 물건을 배송하는 시나리오를 바탕으로 <표 2>와 같이 총 3가지 기준에서 시뮬레이션 결과를 비교 분석하는 방식으로 설계하였으며, 시뮬레이터는 각각의 비행 조건(드론 수, 물품 수, 배송지 수 등)에 의해 3가지 결과 값을 산출한다.

위와 같은 기준이 적용된 시뮬레이터의 기본 설계를 IDEF0 기반의 모델링 툴로 간략하게 정리하면 <그림 2>와 같다.

〈그림 2〉 드론 시뮬레이터의 IDEF0 설계





## 1) Input Entity

운영 드론 대수는 본 프로토타입 개발에서는 해당 시뮬레이터의 feasibility를 보여주는 데 그 목적이 있기 때문에 1~3대 사이에서 선택이 가능하도록 하였다. 드론의 출발지는 대상 빌딩으로부터 200m 떨어져 있으며, 고도는 0에서 출발하는 것으로 설계하였다.

최종 목적지 좌표는 빌딩 내에 1~3개 spot을 지정하여 선택이 가능하도록 하였다. spot의 크기는 반지름 10m이며, 빌딩 높이는 80m, 가로/세로 30m 배송 spot은 건물 25m, 50m, 70m 지점 중앙에 존재한다고 가정하였다.

이동 대상의 개수는 최소 5개에서 최대 50개까지 선택 가능하도록 하였다.

## 2) Mechanism(적용 알고리즘)

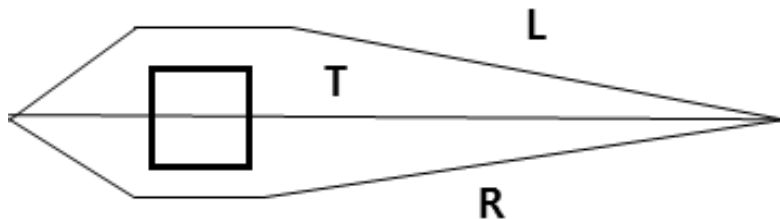
유사 문제에서 적용된 DCPA (Distance to Closet Point of Approach)의 기본 방법론을 차용하여 드론이 현재위치에서 최단 거리로 목표물을 향해서 날아갈 때, 최단 거리 비행경로에 존재하는 장애물(다른 드론 또는 건물 등)이 나타나면 상, 좌, 우로 피해가는 경로를 생성하여 경우의 수를

조합하여 최단 거리를 생성하는 것을 기본 개념으로 하며, 2 단계에 걸쳐 다음과 같은 알고리즘이 적용된다.

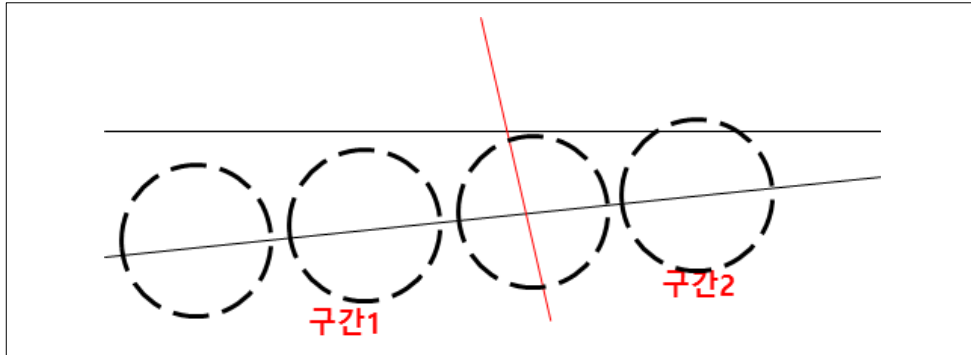
1단계는 경로후보군을 생성하는 것이다. 경로후보군은 이동 경로 상에 장애물이 존재할 경우 장애물을 고려하여 최단 배송 경로를 정의하는 알고리즘으로 <그림 3>과 같이 장애물을 기준으로 장애물의 왼쪽(L)과 위쪽(T) 오른쪽(R)으로 우회하는 경로를 생성하는 방식으로 적용된다.

물류 서비스 드론의 경로 정보는 선으로 표현되는 바, 실제 드론의 크기도 고려해야 한다. 따라서 시뮬레이션에서는 드론의 경로선 중심으로 안전반경을 설정하여, 비행 방향에 따라 주변 지형지물에 충돌하지 않도록 경로/구간별 중첩 구간을 산정, 경로에 대해 경로간 거리가  $2r$ 이 되는 지점들을 파악(반지름  $2r$ 인 구를 경로 상에서 이동하며 탐색)하여 충돌을 회피할 수 있도록 설정하였다. <그림 4>에서 보듯이 구간 1은 두 개의 경로가 중첩되지 않지만 구간 2는 안전반경이 겹친다. 시뮬레이션에서는 이 부분을 충돌 가능성이 있는 것으로 가정하여 장애물과 동일하게 대안 경로를 생성한다.

<그림 3> 위에서 바라본 장애물 고려 대안 경로 생성 예시



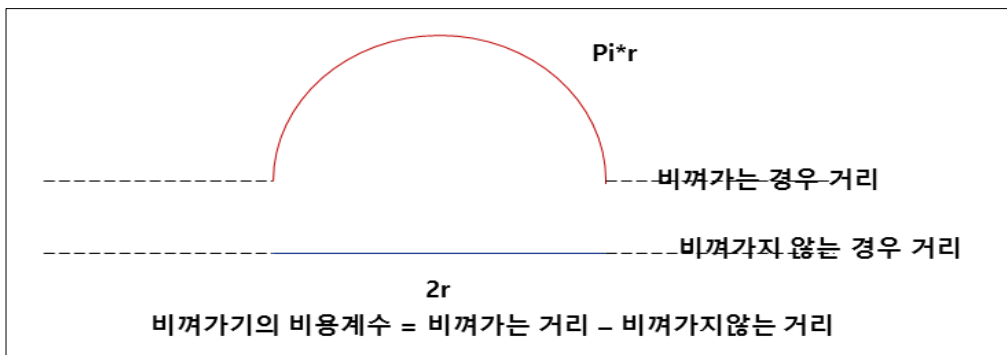
〈그림 4〉 비행 경로와 안전반경을 고려한 경로생성 예시



2 단계는 유동적(Dynamic) 경로 비용을 산정 단계이다. 물류 서비스 드론은 특성 상 동시에 여러 대의 드론을 운용해야 하는 상황이 일반적이다. 이 경우 경로 비행 시에는 안전반경을 고려, 비행 경로 상 중첩되는 부분을 장애물로 인식하여 충돌을 회피할 수 있다. 그러나 출발지와 배송지의 경우는 드론이 정지 비행하는 구간이 많아 드론의 비행 경로 중첩이 필연적이다. 따라서 출발지 및 배송지에서 경로가 중첩되는 경우는 일정한 공간에서 드론이 대기하거나 앞서 도착한 드론이 작업 종료 후 해당

장소를 이탈하는 등의 경로를 설정해야 한다. 따라서 시뮬레이션에서는 중첩 구간에 따라 중첩 비용 계수를 적용하여 출발지와 배송지 근처가 아니면 서로 비껴가는 경로 생성을 통해 원래 이동거리인  $(\pi-2)*r$ 을 비용 계수로 산정하였다. 또한, 출발지와 배송지 근처 구간에서는 첫 드론에 가장 가까운 드론에 Task를 할당하여 첫 드론과의 상대거리 및 구간 중첩을 고려, 가장 비용이 적은 경로를 선택한 뒤 그 경로에 해당하는 Task를 다음 드론에 할당하고 이를 반복 진행토록 설정하였다.

〈그림 5〉 충돌 회피 시 경로 비용 계수의 산정 예시



### 3) Control

드론 운영 속도는 5~20m/s로 선택가능하나 모두 같은 것으로 설정하였으며, 풍속은 0~8m/s까지 선택할 수 있고, 드론 운행시 풍속에 의한 실제 영향은 크지 않기 때문에 8m/s 일 때 드론의 안전반경이 1m 늘어난다.

GPS 정확도는 일반 GPS 와 SBAS를 선택하는 것으로 제공된다. 일반적인 GPS 정확도가 10m 내외이기 때문에 일반 GPS를 선택하면 드론의 안전반경이 10m 가 되며, SBAS를 선택하면 안전반경이 2m 가 된다.

장애물 종류는 없음, 소, 대의 세 가지가 있다. 소는 높이 30m, 가로세로 30m이며, 대는 높이 60m 가로세로 60m 이다.

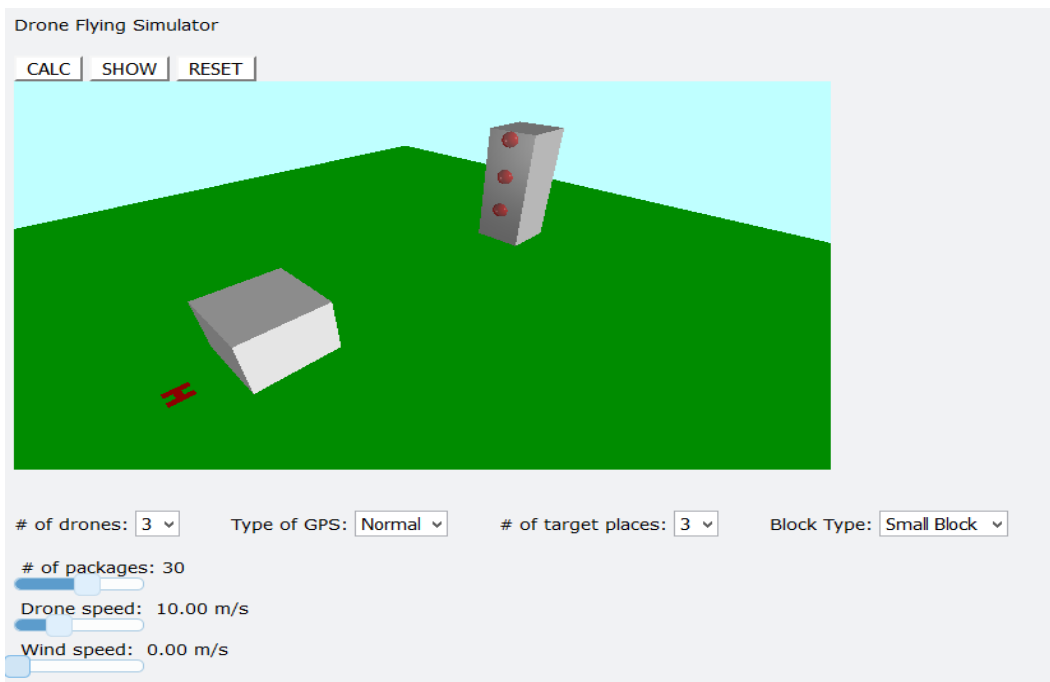
### 4) Output Entity

충돌 가능성을 최소화 하는 Route 와 운행 순서를 생성해서 비행 경로를 보여주는 UI를 제공한다.

## 3.2 시뮬레이터의 주요 기능 및 실험 설계

본 연구를 위해 개발한 시뮬레이터는 python 기반으로 제작되었으며, 3차원 비행 경로를 나타내기 위해 vpython을 사용하였다. 시뮬레이터를 실행하면 <그림 6>과 같은 첫 화면이 나타나는데, 시뮬레이터에는 계산 결과를 보여주는 CALC 버튼과 실제 비행을 보여주는 SHOW 버튼, 재계산

<그림 6> 드론 시뮬레이터 실행과 실행 후 첫 화면



〈그림 7〉 비행 중인 드론의 표현



을 위한 RESET 버튼이 존재하며, 설계 단계에서 반영된 다양한 파라미터의 설정이 가능하다.

시뮬레이션 실행 전 설계 단계에서 반영된 파라미터는 시뮬레이터 첫 화면에 여러 UI를 통해 조정할 수 있다. 드론의 개수는 1, 2, 3 중에 선택하게 되어 있으며, 실행 첫 화면에서는 3개로 설정되어 있다. GPS TYPE은 기본 일반 GPS 및 SBAS를 선택할 수 있으며, 목표 장소 역시 1, 2, 3 중에 선택이 가능하다.

배송품의 개수는 100개까지 설정 가능하며 실행 첫 화면에서는 30개로 설정되어 있다. 드론의 기본 속도는 10m/s 이고 20m/s까지 조정가능하며, 바람의 속도는 3.5m/s 이고 0m/s에서 8m/s까지 조정가능하다.

시뮬레이션에서 드론은 <그림 7>과 같이 드론은 반경 1m의 구로 표현되며 이동 궤적이 남게 된다. 일반 GPS와 SBAS 중 어떤 것을 선택하느냐에 따라 안전 반경이 설정되고 이는 반투명의구 형태로 표현된다. 아래 그림에서 왼쪽의 대형 구가 일반 GPS를 적용한 드론의 안전 반경이고, 오른쪽의 구가 SBAS를 적용한 드론의 안전 반

경이다.

본 시뮬레이터의 목적은 일반 GPS를 적용했을 때와 SBAS를 적용했을 때의 1) 총 이동거리, 2) 총 비행시간, 3) 오배송률의 차이가 유의미하게 존재하는지를 검증하는 것이다. 따라서 실험 계획법을 통한 다양한 시뮬레이션 환경 하에서 SBAS 적용 시 유의미한 차이가 발생하는지 GPS 적용 시와 쌍체비교를 수행하였다.

단, <표 3>에서 보듯이 정의된 실험인자에 의해서 영향을 받는 결과 값은 드론의

〈표 3〉 시뮬레이션 실험 인자와 실험 계획

인 자	인자 수	비고
드론의 수	2	· 1대 운영 · 3개 운영
배송장소의 수	2	· 1개 · 3개
장애물의 종류	3	· 장애물 없음 · 장애물 소 · 장애물 대
총 배송 물건의 수	3	· 10 · 30 · 50
바람의 속도	2	· 0m/s · 8m/s
	72	· = 2 x 2 x 3 x 3 x 2

총 이동거리와 총 비행시간뿐 이므로, 오배송률은 해당 부분에 대한 분석을 따로 진행하였다. 실험의 인자는 드론의 수, 배송장소의 수, 장애물의 종류, 총 배송 물건의 수, 바람의 속도로 정하여 총 실험 가짓수를 산출하였다.

## IV. 실험 결과

### 4.1 총 비행 거리

연구에서는 시뮬레이션 결과에 대한 신

뢰성을 측정하기 위해 실험 설계에서 설정한 각 실험 조건에 따라 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 실험 결과는 일반 GPS 적용 경우와 SBAS 적용 경우를 나누어 쌍체 비교 하였다. <표 4>는 시뮬레이션을 통해 산출된 총 비행 거리의 결과 값을 나타낸 것이다.

<표 5>는 각각의 실험 조건에 따른 드론의 총 비행거리를 나타내며, 일반 GPS 적용 경우와 SBAS 적용 경우를 쌍체 비교를 통해서 검증한 결과이다. 검증결과  $p$ -value 값이 0에 수렴하는 매우 작은 값이 나타났으며 이는 GPS를 적용한 경우와

<표 4> 총 비행 거리 비교 실험 결과

번호	드론의 수	배송 장소의 수	장애물의 종류	총배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행거리	SBAS 총 비행거리
1	1	1	없음	10	0	4241.49	4079.46
2	1	1	없음	10	8	4291.63	4138.47
3	1	1	없음	30	0	12706.32	12232.69
4	1	1	없음	30	8	12857.39	12417.88
5	1	1	없음	50	0	21171.15	20385.92
6	1	1	없음	50	8	21423.16	20697.28
7	1	1	소	10	0	4704.45	4309.78
8	1	1	소	10	8	4767.92	4415.52
9	1	1	소	30	0	14073.93	12964.99
10	1	1	소	30	8	14315	13274.02
11	1	1	소	50	0	23445.02	21620.2
12	1	1	소	50	8	23862.08	22132.51
13	1	1	대	10	0	5322.01	4765.6
14	1	1	대	10	8	5463.87	4898.11
15	1	1	대	30	0	15968.54	14304.2

번호	드론의 수	배송 장소의 수	장�물물의 종류	총배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행거리	SBAS 총 비행거리
16	1	1	대	30	8	16383.84	14708.07
17	1	1	대	50	0	26615.08	23842.8
18	1	1	대	50	8	27303.81	24518.03
19	1	3	없음	10	0	4365.35	4184.23
20	1	3	없음	10	8	4382.94	4221.88
21	1	3	없음	30	0	13054.77	12576.06
22	1	3	없음	30	8	13192.61	12717.74
23	1	3	없음	50	0	21724.52	20937.37
24	1	3	없음	50	8	21960.55	21198.29
25	1	3	소	10	0	4707.82	4393.79
26	1	3	소	10	8	4782.41	4482.04
27	1	3	소	30	0	14122.77	13219.89
28	1	3	소	30	8	14348.02	13461.56
29	1	3	소	50	0	23515.55	22040.57
30	1	3	소	50	8	23914.15	22430.47
31	1	3	대	10	0	5295.1	4850.82
32	1	3	대	10	8	5407.43	4958.35
33	1	3	대	30	0	15890.23	14579.01
34	1	3	대	30	8	16207.19	14900.25
35	1	3	대	50	0	26499.89	24284.13
36	1	3	대	50	8	27013.37	24833.57
37	3	1	없음	10	0	4727.31	4126.75
38	3	1	없음	10	8	4918.77	4242.82
39	3	1	없음	30	0	14117.69	12428.09
40	3	1	없음	30	8	14667.88	12713.86
41	3	1	없음	50	0	23499.52	20682.26
42	3	1	없음	50	8	24401.59	21170.75
43	3	1	소	10	0	4866.38	4322.46
44	3	1	소	10	8	5249.57	4447.19
45	3	1	소	30	0	14930.11	12977.62

번호	드론의 수	배송 장소의 수	장애품의 종류	총배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행거리	SBAS 총 비행거리
46	3	1	소	30	8	15786.11	13306.74
47	3	1	소	50	0	24924.06	21633.59
48	3	1	소	50	8	26124.77	22166.31
49	3	1	대	10	0	5415.29	4778.3
50	3	1	대	10	8	5583.02	4931.14
51	3	1	대	30	0	16064.32	14317.43
52	3	1	대	30	8	16508.48	14741
53	3	1	대	50	0	26712.96	23856.8
54	3	1	대	50	8	27434.62	24551.72
55	3	3	없음	10	0	4813.6	4222.66
56	3	3	없음	10	8	4994.92	4340.92
57	3	3	없음	30	0	14402.44	12675.9
58	3	3	없음	30	8	14957.54	13004.02
59	3	3	없음	50	0	23943.52	21095.51
60	3	3	없음	50	8	24812.77	21651.83
61	3	3	소	10	0	4977.08	4409.75
62	3	3	소	10	8	5153.38	4541.6
63	3	3	소	30	0	15069.54	12824.26
64	3	3	소	30	8	15995.83	13586.93
65	3	3	소	50	0	25343.84	22046.47
66	3	3	소	50	8	26671.15	22632.26
67	3	3	대	10	0	5495.62	4874.94
68	3	3	대	10	8	5667.93	4996.47
69	3	3	대	30	0	16626.54	14633.23
70	3	3	대	30	8	17339.12	15031.26
71	3	3	대	50	0	27753.94	24359.38
72	3	3	대	50	8	28875.23	25071.7

SBAS 적용한 경우 사이에 총 비행 거리의 확실한 차이가 존재함을 의미하는 바,

SBAS를 활용한 항로 생성 모델이 유용한 것으로 해석할 수 있다.

〈표 5〉 총 비행 거리 통계 값의 쌍체 비교 결과

통계 값	일반 GPS	SBAS
Mean	14974	13491.24
Variance	69551588	55775601
Observations	72	72
Pearson Correlation	0.996767	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	71	
t Stat	11.67068	
P(T<=t)	3.55E-18	
t Critical	2.646863	

## 4.2 총 비행 시간

<표 6>은 위와 동일하게 각 상황별 총 비행 시간을 분석한 결과이다. 표에는 각각의 실험 조건에 따른 드론의 총 비행 시간

이 기록되어 있다. <표 7>은 일반 GPS 적용 경우와 SBAS 적용 경우를 쌍체 비교를 통해 검증한 결과이다. 총 비행 시간의 시뮬레이션을 분석한 결과도 마찬가지로 p-value 값이 0에 수렴하는 것으로 나타나

〈표 6〉 총 비행 시간 비교 실험 결과

번호	드론의 수	배송 장소의 수	장애물의 종류	총 배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행시간	SBAS 총 비행시간
1	1	1	없음	10	0	424	408
2	1	1	없음	10	8	429	414
3	1	1	없음	30	0	1271	1223
4	1	1	없음	30	8	1286	1242
5	1	1	없음	50	0	2117	2039
6	1	1	없음	50	8	2142	2070
7	1	1	소	10	0	470	431
8	1	1	소	10	8	477	442
9	1	1	소	30	0	1407	1296
10	1	1	소	30	8	1432	1327
11	1	1	소	50	0	2345	2162



번호	드론의 수	배송 장소의 수	장애물의 종류	총 배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행시간	SBAS 총 비행시간
12	1	1	소	50	8	2386	2213
13	1	1	대	10	0	532	477
14	1	1	대	10	8	546	490
15	1	1	대	30	0	1597	1430
16	1	1	대	30	8	1638	1471
17	1	1	대	50	0	2662	2384
18	1	1	대	50	8	2730	2452
19	1	3	없음	10	0	437	418
20	1	3	없음	10	8	438	422
21	1	3	없음	30	0	1305	1258
22	1	3	없음	30	8	1319	1272
23	1	3	없음	50	0	2172	2094
24	1	3	없음	50	8	2196	2120
25	1	3	소	10	0	471	439
26	1	3	소	10	8	478	448
27	1	3	소	30	0	1412	1322
28	1	3	소	30	8	1435	1346
29	1	3	소	50	0	2352	2204
30	1	3	소	50	8	2391	2243
31	1	3	대	10	0	530	485
32	1	3	대	10	8	541	496
33	1	3	대	30	0	1589	1458
34	1	3	대	30	8	1621	1490
35	1	3	대	50	0	2650	2428
36	1	3	대	50	8	2701	2483
37	3	1	없음	10	0	183	164
38	3	1	없음	10	8	189	168
39	3	1	없음	30	0	473	415
40	3	1	없음	30	8	491	425
41	3	1	없음	50	0	799	704
42	3	1	없음	50	8	830	721

번호	드론의 수	배송 장소의 수	장래물의 종류	총 배송 물건의 수	바람의 속도	일반 GPS 총 비행시간	SBAS 총 비행시간
43	3	1	소	10	0	189	172
44	3	1	소	10	8	196	176
45	3	1	소	30	0	503	433
46	3	1	소	30	8	547	445
47	3	1	소	50	0	848	736
48	3	1	소	50	8	900	755
49	3	1	대	10	0	213	190
50	3	1	대	10	8	219	196
51	3	1	대	30	0	537	478
52	3	1	대	30	8	552	492
53	3	1	대	50	0	910	811
54	3	1	대	50	8	935	835
55	3	3	없음	10	0	186	167
56	3	3	없음	10	8	191	171
57	3	3	없음	30	0	482	423
58	3	3	없음	30	8	501	435
59	3	3	없음	50	0	814	717
60	3	3	없음	50	8	843	737
61	3	3	소	10	0	198	175
62	3	3	소	10	8	203	179
63	3	3	소	30	0	507	443
64	3	3	소	30	8	565	455
65	3	3	소	50	0	865	750
66	3	3	소	50	8	936	771
67	3	3	대	10	0	214	194
68	3	3	대	10	8	226	198
69	3	3	대	30	0	560	489
70	3	3	대	30	8	585	502
71	3	3	대	50	0	946	829
72	3	3	대	50	8	1002	854

GPS를 적용한 경우와 SBAS 적용한 경우 사이에 총 비행 시간 역시 확실한 차이가 존재하는 것으로 확인되었다.

### 4.3 오배송률

오배송률은 계획된 착륙지점에 보다 정밀하게 도착할 확률을 의미하는 것으로 오배송률이 낮을수록 배송시 성공 확률이 높다고 볼 수 있다. 더욱이 집단지주지역을 대상으로 하는 배송의 경우 SBAS를 이용한 정밀한 배송은 비즈니스 성공의 중요한 요소가 될 수 있다.

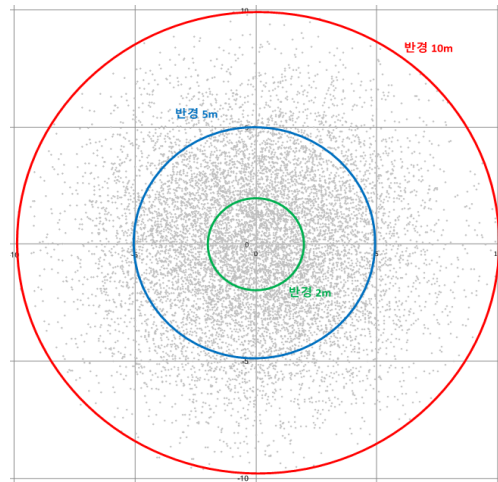
본 시뮬레이터 설계에서는 배송지 반경을 5m, 일반 GPS 사용 드론의 안전반경은 10m, SBAS 사용 드론의 안전반경은 2m로 설정했기 때문에, 바람이 없다고 가정할 경우 GPS 성능에 따른 위치 정확도는 원의 중심을 기준으로 정규분포를 따른다고 가정할 수 있다. 이 경우 반경 10m인 드론(일반 GPS)이 실제 반경 5m인 배송지 영역 내에 존재할 확률은 69%로 오배송률은 31%가 된다.

동일한 방식으로 반경 2m인 드론(SBAS)이 실제 반경 5m인 배송지 영역 내에 존재할 확률을 계산하면 99.99%이며 이 경우 오배송률 0.01%로 산정할 수 있다.

이처럼 계산한 오배송률은 <그림 8>과 같이 표현할 수 있다. 그림에서 파란 원은 배송지의 크기이며, 빨간원은 일반 GPS 기반의 드론 안전 반경, 녹색원은 SBAS 기반의 드론 안전 반경이다. SBAS의 경우 바람의 영향에 의해 안전 반경이 3m 이상

커지면 오배송률이 변경될 수 있으나 본 실험에서 가정한 크기 1m 이상의 대형 드론은 태풍 등의 특별한 기후 조건이 아니면 운영이 불가능할 정도의 영향을 받는 경우가 극히 드물기 때문에 해당 경우는 고려하지 않았다.

<그림 8> 배송지 반경 및 안전반경 하에서의 오배송률 산정



## V. 결 론

드론을 활용한 물류 서비스 제공은 선진국 및 글로벌 대기업을 중심으로 상용화 단계에 접어든 것으로 평가하고 있다. 국내에서도 드론을 물류, 국방 등 다양한 서비스 분야에 활용하는 방안이 다양하게 논의되어 왔으며, 이에 대한 연구개발 및 실증 사업도 활발하게 진행되고 있다.

그러나 드론과 관련된 연구는 주로 하드웨어 개발 및 개별 기술 요소에 다소 치중

되어 있는 것이 사실이며, 드론을 활용한 다양한 서비스 모델을 개발하고 운영 방안에 대한 분석을 수행한 연구는 드물다. 향후 드론과 관련된 연구개발을 통해 기술발전이 지속적으로 이루어지게 된다면, 드론의 기술 수준이 상향평준화 될 것으로 기대되는 바, 드론이 적용된 서비스의 차별성은 서비스 모델의 운영 효율성과 생산성이 결정할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 실제 드론을 물류 서비스에 운영할 경우 SBAS 기술을 적용하여 최적 경로를 생성하는 모델을 제시하였으며, 시뮬레이터를 개발하여 설계된 모델의 유용성도 검증하였다. 시뮬레이션의 실험 결과 드론 물류 서비스 제공의 주요 기준이 되는 드론의 총 비행 거리, 총 비행 시간, 오배송률에 있어 SBAS를 적용한 드론이 GPS를 적용한 드론 대비 정확도 및 신속성, 신뢰도 측면에서 모두 우수한 결과를 나타냈다. 이는 향후 드론 물류 서비스를 개발 및 운영 시 SBAS 기술 적용이 타당함을 의미하며 연구에서 제시하는 모델의 주요 기준이 실제 현장에서도 유용하게 적용될 수 있음을 증명하는 것이라 하겠다.

다만, 연구에서는 시뮬레이션의 여러 파라미터 값을 제한된 값만을 적용한 한계점이 있으나 실제 현장에서도 극단적인 파라미터 값이 적용되는 예외 상황이 발생하는 경우는 드물 것으로 판단되며 향후 여러 파라미터 값을 적용한 시뮬레이션 실험 수행 시 실제 환경에서 나타나는 결과 값과 충분히 유사한 결과가 나타날 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- 국회입법조사처(2015), 무인항공기 비행안전 제고를 위한 입법·정책 과제, *NARS 현안보고서 제279호*, 2015.12.08.
- 권기범 외 3인(2017), *국외 드론(무인항공기) 규제현황 및 분석 최종보고서*, 스마트드론기술센터.
- 과학기술정보통신부(2015), *무인기기 기획연구 보고서*
- 박태규 외 4인(2015), *무인항공기 사이버 보안 사고 사례와 보안취약성*, 정보통신기술진흥센터.
- 배영임(2016), *드론산업 육성의 전제조건*, 경기연구원.
- 산업연구원(2016), *무인이동체산업의 국내 역량분석 및 정책방향 - 드론 및 자율주행차를 중심으로 -*.
- 산업통상자원부(2015), *드론 개발전략*, 로봇PD실
- 왕도휘, 정훈, 윤대섭 (2016). 드론 물류배송 활용 사례와 향후 발전방향에 관한 연구, *한국통신학회 학술대회논문집*, 624-625.
- 윤광준(2015), *광학세계 - 드론 핵심 기술 및 향후 과제*, 한국광학기기협회.
- 이종섭(2015), *드론과 SBAS융합산업 활성화 방안*, 한국드론협회
- 임베디드소프트웨어·시스템산업협회, *드론의 기술 및 시장 트렌드와 무한한 기회*, 2015.07
- 정성순, 권기문 (2016), 원거리 드론 제어를 위한 MANET기반의 분산제어 통

- 신, 전자공학회논문지, 53(5), 168-173.
- 정지훈(2015), *광학세계 -드론의 발전 방향과 향후 시장 전망*, 한국광학기기 협회
- 정 훈, 이현규(2015), 드론을 이용한 물류 서비스 추진 방향, *우정정보 101*, 2015(여름)
- 주진 외 8명(2015), 「국민안전 감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 및 운용」 공동기획연구 보고서, 한국항공우주연구원.
- 진정희, 이귀봉 (2016), 무인기/드론의 이해와 동향, *한국통신학회지(정보와 통신)*, 33(2), 80-85.
- 첨단정보통신융합산업기술원(2016), *스마트드론신기술동향*.
- 첨단정보통신융합산업기술원(2017), *드론 활용 비즈니스 모델 및 사업화 전략 분석*
- 최영철, 안효성(2015), 드론의 현재와 기술개발동향 및 전망, *The korean institute of Electrical Engineers*, 64(12), 20-25
- 한국교통연구원(2017), *드론활성화 지원 로드맵*, 드론활성화 컨퍼런스, 2017월 3월.
- 한국특허정보원 특허정보진흥센터(2017), 「스마트 드론 기술분야」 국내 특허동향 분석.
- 항공안전기술원(2015), *무인항공기 안전운항기술 개발 및 통합시범운용 공동기획연구보고서*.
- Henry H. Perritt, Jr., Eliot O. Sprague, “Drones”, *VAND. J. ENT. & TECH. L.*, Volume 17, Issue 3, Spring 2015.
- KEIT(2015), *무인항공기(Drone) 기술동향과 산업전망*, 15(7).
- A. Sato(2003), *The RMAX Helicopter UAV*, Yamaha Motor Co., LTD., Shizuoka, Japan, Report.
- C. Anderson(2012), How I accidentally kick-started the domestic drone boom. *Danger Room Wired. com*, <http://www.wired.com/dangerroom/2012/06/ff-drones/all>, 1-10.
- C. Harress(2014), 12 Companies That Will Conquer The Drone Market In 2014 and 2015, *International Business Times*.
- DJI, AGRAS MG-1, <http://www.dji.com/kr/product/mg-1>
- D. Melliger, M. Shomin, N. Michael, V. Kumar(2010), Cooperative Grasping and Transport using Multiple Qudrotors, *Proc. of the International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System*, 2010(Nov.).
- Ehang184 <http://www.ehang.com/>, 2016. 1
- G. Gioioso, A. Franchi, G. Salvietti, S. Scheggi, D. Prattichizzo(2014), The Flying Hand: a Formation of UAVs for Cooperative Aerial Tele-Manipulation, *Proc. of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4335-4341.
- I. Amago, Understanding your aerial data: Normalized difference vegetation index, <http://media.precisionhawk.com/topic/ndvi/>.

I. Unal, and M. Topakci(2014), A review on using drones for precision farming applications, *Proc. of 12th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 276-283.

Parrot 2014 Q4 Financial Report Press Release, <http://www.parrotcorp.com/en/financialpublications/pressreleaseq42014>

Sunda, Surendra & Sridharan, R & Vyas, brij & V. Khekale, P & Parikh, Kaushik & S. Ganeshan, A & R. Sudhir, C & V. Satish, S & Bagiya, Mala. (2014). Satellite Based Augmentation Systems – A Novel and Cost Effective Tool For Ionospheric and Space Weather Studies. *Space Weather*. 13. 10.1002/2014SW001103.

**\* 저자소개 \***

· **김용하(kyh@konyang.ac.kr)**

서강대학교에서 경영학 박사학위를 취득하였다. 현재 건양대학교 병원경영학과 교수로 재직 중이며, 주요 강의 및 연구 분야는 보건정책, 공공서비스 품질 개선, 서비스 프로세스 운영 등이다.

· **윤영진(yjyoon@smu.ac.kr)**

서강대학교에서 경영학 박사학위를 취득하였다. 현재 상명대학교 경영학부 교수로 재직 중이며, 주요 강의 및 연구 분야는 사업전략, 비즈니스컨설팅, 산업정책 및 서비스공학 등이다.