



드론 도입을 위한 도시 입체계획의 방향과 과제

Direction and Tasks of the Urban Planning in the Presence of Drones

김정훈* · 김홍배**

Kim, Jung-Hoon · Kim, Hong-Bae

Abstract

The representative spatial industrial revolution of the city is the drones. Recently, a variety of urban services using drone are being actively discussed, and some cities are trying to introduce services using a drone. However, there are no discussions on criteria such as safety distance between drones as a safety flight that must be preceded in order to operate drones in the city. In this paper, we prove the vertical flight safety distances of drones in urban spaces under 150m altitude by aeronautical law, and present stable factors to use drones in urban airspace. The results of this study are as follows: First, it is confirmed that the vertical movement of the drone satisfying the target level of safety(TLS) of International Civil Aviation Organization(ICAO) is less than 100 ft (30.48M) at altitudes below 150M. Second, the factors affecting the TLS are the vertical overlapping probability of the drone rather than the speed change of the drone and the size change of the drone. Finally, it is suggested that the space below 150m altitude of the urban should be divided into maximum two airspace based on the current TLS and maximum two drones can fly simultaneously.

키 워 드 ■ 드론, 무인항공기, 레이체 모델, 도시 입체계획

Keywords ■ Drone, Unmanned Aerial Vehicle, Reich Model, The 3-dimension spatial urban planning

1. 연구의 배경 및 목적

제4차 산업혁명은 서로 다른 분야가 융합되는 기술혁명이다. 제 4차 산업혁명에 의한 도시의 대표적인 공간 개념은 스마트시티로 나타나고 있으며, 스마트시티 구성 요소 중 가장 큰 관심은 드론이다. 드론은 항공법에 의해 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 범주 안에 속하며, 무인항공기의 정의는 “항공기에 사람이 탑승하지 아니하고 원격·자동으로 비행할 수 있는 항공기”이다.

최근 국내외적으로 드론을 활용한 다양한 도시

내 서비스가 활발히 논의 중이며 드론에 의한 보안, 방법, 배송 등의 서비스가 개발 혹은 일부 시범 운영 중이다. 해외의 경우에는 군·경의 정찰, 공격용 드론과 민간의 방법, 배송용 드론 등이 운영 중이며, 국내의 경우에는 지자체, 공공기관 및 일부 민간 회사에서 제한적으로 시설물 관리, 측량, 방법용 드론을 시범적으로 도입하고 있다.

이처럼 드론을 활용한 서비스 방안에 대해서는 도입 방안과 정책적 방향이 활발히 논의되고 있으나, 드론의 사고 위험 및 개인의 프라이버시 침해 등에 대한 논의는 드문 실정이다. 도시 내에서 드

* Dept. of Urban Planning, Hanyang University

** Dept. of Urban Planning, Hanyang University (corresponding author : hokim@hanyang.ac.kr)

론은 인명, 재산 등의 상공을 비행하게 되며 이에 필수적으로 선행되어야 할 드론의 비행 경로, 높이·속도 제한, 안전거리 설정 등에 대한 고민이 필요하다.

현재 드론은 항공법 제23조 및 항공법 시행규칙 제68조 규정에 의해 인구밀집지역이나 사람이 많이 모이는 장소의 상공에서는 비행을 금지하며, 비행제한구역의 경우 고도 150M 이내 및 일부 제약조건을 만족한 경우에만 운영이 가능하다. 즉 드론의 도심 내 운영은 비행제한구역 또는 군 관할 공역 내에서 비행허가 후 가능하며 고도 150M 이하의 한정된 공간에서만 가능하다는 것을 의미한다. 도시 공간에 존재하는 수많은 시설물 및 건축물 등을 고려하면 드론의 비행가능 영역은 현저히 줄어들 것이다.

이에 본 논문은 드론 도입을 위한 도시 입체 계획의 첫 단계로서 도시 공역을 효율적이고 안정적으로 사용하기 위하여 항공법에서 제한하는 고도 150M 이하에서 드론의 동시 비행이 가능한 최소 수직 안전거리를 검증하고 이를 통해 도시 공간 분할의 초기 모델을 제시하고자 한다.

II. 선행 연구 고찰과 현황 분석

1. 선행 연구 고찰

먼저 국내 문헌을 살펴보면 다양한 분야에서 드론을 활용하는 방안에 대해 논의가 진행되고 있음을 알 수 있다.

강욱 외 1명(2016)은 테러 대응, 실종자 수색 등 8가지 분야에서 드론의 활용 가능성에 대하여 살펴보았다. 손유진(2016)은 군 시설물의 체계적인 관리, 장거리의 철책 상태 파악 및 정찰 기능을 위해 드론을 활용하는 방안을 개념적 수준에서 제안하였다.

이성재(2016)는 국내 중소형 노천광산에서 무인 항공기 사진측량시스템을 이용한 지형측량 기술의 적용 가능성을 실증하였다. 신관우 외 1명(2017)은 드론의 민간경비영역에서의 활용방안 및 문제점을 제시하였다.

해외 문헌을 살펴보면 국내 문헌과는 다르게 드론을 활용한 결과에 관련 논의가 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다.

Xiao-Bing Li 외 6명(2017)은 드론이 오존 오염 및 기상 상태의 신속한 조사에 적합하며 그 결과의 신뢰성과 정밀성을 가지고 있음을 증명하였다. Justin J. Boutilier 외 9명(2017)은 드론이 위급 상황 시 AEDs(Automated external defibrillators) 전달에 효과적임을 제안하였다.

Omar Sami Oubbati 외 5명(2017)은 기존 ITS(Intelligent Transportation Systems)에서 발생하는 교통 정보 제공 단절을 개선하기 위하여 드론을 활용한 통신 거리 이격 해소 방안을 제시하였다. Thomas Castelli 외 4명(2016)은 도시 지역의 저고도 드론을 위한 자율 주행 연구를 통해 GIS와 Google Map을 활용한 드론의 이동 경로 최적화 방안을 살펴보았다.

이상 국내외 문헌을 살펴본 결과 대부분의 연구는 드론의 비행 기능을 활용하기 위한 방안으로 도출되었다. 그러나 드론 도입을 위한 공간의 입체적 활용에 관한 연구는 거의 다루어지지 않았음을 알 수 있다. 드론 서비스를 도입함에 있어 도시 계획적 측면에서 다양한 한계가 존재하는데 그 중 중요한 한계는 드론의 비행을 위한 도시의 상부 공간 분할 방안이다.

이에 본 논문에서는 드론의 안정적 비행을 위한 수직적 거리를 검증하고 공간 분할의 방향을 제시하고자 한다.

2. 드론 운영 현황

미국 연방항공청은 <표 1>과 같이 소형무인항공기 운항 고도에 대한 입법예고(FAA, 2015)를 통해 비행고도를 최고 500ft(152.4M)까지 제시하였으며 향후 무인항공기를 유인기와 함께 국가공역에 통합시킨다는 대원칙을 가지고 있으나 비행고도 500ft를 세부적으로 분류하고 있지 않다.

Table 1. USA Minimum Safe Altitude (FAA*, 2015)

Category	Minimum safe altitude
High density area	· Up to 1,000 ft from the highest height obstacle · 2,000 feet from the aeroplane
Low density area	· At least 500 feet above the surface · Maintaining a minimum distance of 500 ft from persons, vessels, vehicles and coaches
All area	· In case no danger of people or asset on an emergency landing

* Federal Aviation Administration, 14 CFR 91.119

미국 민간 물류회사인 아마존은 드론 택배 배송을 위해 미국 연방항공청의 최고 운항고도 500ft를 세 가지 형태로 분할하여 드론과 유인기의 충돌 위험 방지 위한 완충 구역, 배송을 위한 드론 운항 영역 그리고 항공촬영이나 취미용 드론 운항 영역으로 제시하였다. 그러나 각 구간에서의 드론 간 최소 수직 거리 및 동시 비행 대수에 대해서는 제시하지 못하였다.

오스트리아는 항공법 시행령(제2편 제4장, 2014)과 안전 비행 및 운행지침을 통해 무인항공기에 관한 규정을 <표 2>와 같이 법제화하였다(국회도서관, 2016). 그러나 무인항공기를 무게로 구분하여 비행 가능 구역 및 비행 허가 여부만 구분하였을 뿐 비행 높이 및 공간적 분할은 제외되어 있다.

Table 2. Austrian Drone Flight Zones (National Assembly Library, 2016)

Category	I. Building-free area	II. Non-residential area	III. Residential area	IV. Populated areas
5Kg below	A*	A	B**	C***
25Kg below	A	B	C	D****
25Kg excess 150Kg below	B	C	D	D

* A: No aircraft performance and structure restrictions

** B: It is possible to submit the form by inspecting and checking the technical standard by the operator himself

*** C: Complicated adjustments can be made to ensure safety and navigation can be installed

**** D: It is possible to make complicated adjustments for safety and it is necessary to equip with navigation and automation function device

서울시는 공간정보 업무지침(2017)을 통해 드론을 활용한 상징적인 건물의 3차원 공간정보 시범사업, 실시간 공중 모니터링 체계 구축, 1:1000 수치지형도 갱신 방법 모색의 3가지의 드론 정책 진행을 제시하였으나, 드론의 안정적 비행을 위한 공간적 고려는 되지 않았다.

해양수산부는 제주도 바닷가 실태조사 무인항공기 활용 시범사업(2016)을 통해 무인항공기를 활용한 지적측량 및 현황조사를 추진하였으나, 갱신주기 단축 및 비용에 초점이 맞추어져 있으며 바닷가 상부의 드론 운영을 위한 공간적 고려는 제외되어 있다.

국토교통부는 <표 3>의 드론 시범사업(2016)을 통해 드론의 상용화를 위한 사전 안전성 검증을 추진하고 있으나 드론의 자체 기능인 비행 및 운송을 활용한 서비스에 집중되어 있으며 드론 운영을 위한 공간적 활용 방안은 분류하고 있지 않다.

Table 3. Drone Pilot Project(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016)

Category	Major fields of pilot project
Logistics	Carrying cargo, delivering relief goods and medical supplies to disaster areas
Forest monitoring	Prevention of forest fires, investigation of pollution, diagnosis of disease and disease
Facility safety diagnosis	Safety diagnosis such as bridges, railways, buildings, high voltage transmission lines
Land survey and patrol	Survey, homeland survey, complaint and disaster site investigation
Border management	Coastal and Border Management
UAV control using communication network	Communication capability, control technology and video streaming, collision avoidance, identification, etc.
Leisure sports and advertising	Hobbies, entertainment, drone games, shooting, advertising, etc.
Agricultural support	Diagnosis of insect pests, pesticide spraying, etc.

또한 <그림 1>의 안전한 비행과 사고 예방을 위한 드론 전용 운항로인 ‘드론길’ 구축(2017)을 추진 중이며, 향후 장애물 정보가 표현되는 3차원 공간 정보 기반 정밀지도를 제작하여 드론의 안정적 운항로 확보를 목표로 한다. 그러나 항공법의 고도 150M이내에서 드론의 안정적 비행을 위한 수직적 거리 및 공간 분할은 논의되지 않은 채 건축물 및 장애물과 부딪치지 않도록 가이드 해주는 역할에 지나지 않는다.



Fig 1. Drones Road Construction Project (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017)

3. 주요 관련 이슈

선행연구 고찰 및 현황 분석을 보면 항공법상 드론 비행이 가능한 지상 150m 이하 공역을 구체적인 비행 안전 기준을 고려하여 구분하고 설정한 사례는 없다.

도시 내에서 드론을 안정적으로 운영하기 위하여 항공법을 만족하는 구체적이고 명확한 비행 방향성을 제시하여야 한다. 즉 드론 비행의 이슈는 안전이다. 드론을 포함한 항공교통이 육상, 해상 등 다른 교통수단과 구분되는 큰 특징은 항공기의 이동, 이륙, 착륙의 순서와 시기, 비행방법 등이 지상에서 매우 엄격하게 관리되고 있다는 점이다. 또한 도시 내에서 운영될 드론의 경우 비행 중 추락 혹은 드론 간의 충돌 사고가 발생 시 육상 교통과는 달리 피해 범위가 상당할 것으로 판단되기에 더욱 강력한 관리가 필요하다고 할 것이다.

위와 같이 드론의 안정적 비행을 위해서는 비행 경로에 대한 도시공간의 구체적인 입체적 계획이 필요하며, 입체적 계획에는 <그림 2>과 같이 비행 높이, 이동 방향 및 속도가 구체적으로 고려되어야 한다. 이에 분석 방안을 크게 세 가지 방향으로 제시한다.

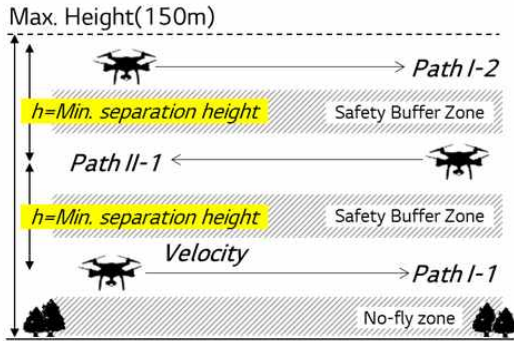


Fig 2. Vertical Separation of Aircraft

첫째, 항공법의 Max. Height(150m 이하)에서 드론의 동시 비행이 가능한 h(최소 수직 분리 간격)을 확인한다. 이를 위해 국제민간항공기구(ICAO) 및 한국교통연구원에서 사용하는 항공로 안전평가 분석모델을 활용한다. 둘째, 드론의 안전 비행 수준에 영향을 주는 인자 분석으로서, 향후 도시 내 드론의 안정적 운영을 위한 안전 인자를 도출한다. 마지막으로 첫째와 둘째 분석에서 확인된 내용을 바탕으로 드론의 안정적 비행이 가능한 도시 공간 구조 제시이다. 이를 통해 향후 도시 내 드론 기능 도입을 위한 과제를 제시한다.

III. 모형

항공안전 위험도를 정량적으로 측정하기 위한 위험도 모델링은 국제민간항공기구에서 사용하는 Reich 모델을 활용한다. Reich 모델은 대상 공역에서 비행 시간당 사고 수로 정의되며(김장환 외, 2012), 아래 (식 1)과 같이 표현된다.

$$C = N_x P_y P_z + N_y P_x P_z + N_z P_x P_y, \quad \dots(\text{식 } 1)$$

C : 단위 시간당 항공기 충돌 횟수

N_r : r 축의 분리실패 빈도

P_r : r 축의 분리실패 확률

r : x 축, y 축 및 z 축

단위 시간당 항공기가 r 축으로 중첩되는 총 시간은 (식 2)과 같이 해당 기간 중 항공기간 중첩되어지는 총 횟수에 한 번 중첩 되었을 경우의 지속 시간을 곱해서 구해진다(조현수, 2015).

$$P_r = \frac{N_r \times 2\lambda_r}{|\dot{r}|}, \quad \dots(\text{식 } 2)$$

이에 (식 2)을 (식 1)에 대입하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$C = P_x P_y P_z \left[\frac{|\dot{x}|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right], \quad \dots(\text{식 } 3)$$

λ_x : 항공기 길이

λ_y : 항공기 폭

λ_z : 항공기 높이

(식 3)은 항공기의 x 축, y 축 및 z 축으로의 이동시의 충돌 횟수를 나타내므로, 수직 충돌 횟수를 구하기 위한 식은 아래 (식 4)와 같다.

$$N_{az} = P_z(S_z) P_y(0) \frac{2\lambda_x}{2|\overline{V}|} N_x(opp) \left[\frac{2|\overline{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right], \quad \dots(\text{식 } 4)$$

N_{az} : 수직 분리 상실로 비행시간 당 두 항공기 간 충돌 위험 횟수

S_z : 수직 방향의 분리 간격

$P_z(S_z)$: 동일한 항공로를 운항하는 두 항공기의 수직 중첩확률

$P_y(0)$: 동일한 항공로를 운항하는 두 항공기의 횡적 중첩 확률

$N_z(opp)$: 동일한 항공로에서 한 항공기를 기준

으로 인접고도의 반대방향 항공 기수
의 평균 수직 점유율

$|\bar{v}|$: 항공기 평균 지상 속도

$|\bar{y}|$: 동일 항공로 운항하는 항공기간의 평균
횡적 교차속도

$|\bar{z}|$: 동일 항공로 운항하는 항공기간의 평균
상대 수직속도

IV. 모형 적용

1. 드론 수직 중첩 분석

분석을 위해 드론은 수직 방향이 아닌 수평 방
향으로만 비행 운항하며, 드론 간의 충돌 시 조종
자의 운항 개입은 없다고 전제한다. 이는 항공기의
특성을 가진 드론은 인위적인 조작 없이도 수평 방
향 비행 중에 바람, 기압 등에 의해 자연적으로 수
직적으로 이동됨을 의미하며, 이런 상황에서도 안정
적 비행을 위한 수직 거리를 찾기 위함이다.

또한 분석 모형에 대입되는 수치는 <표 4>과 같
이 ICAO 및 국내 논문에서 제시된 증명된 수를 사
용한다.

Table 4. Given Variables & Values

Variables	Values			Remarks
$P_y(0)$	0.058			ICAO Standard
h	± 100ft	$P_z(S_z)$	9.43E-10	Domestic Thesis Values
	± 150ft		3.51E-09	
	± 250ft		1.00E-08	
	± 300ft		2.00E-03	ICAO Standard
	± 500ft		3.50E-06	
	± 650ft		1.60E-07	

Variables	Values	Remarks
$N_z(opp)$	0.54	Domestic Thesis Values
$ \bar{y} $	4Knot(7.4Km/h)	ICAO Standard
$ \bar{z} $	10Knot(18.5Km/h)	

드론의 도입 시나리오는 총 9개로서, 도입 시나
리오는 4개의 인자를 순차적으로 변화하여 대입하
였다. 각 인자 중 첫 번째는 평균 속도로서
25Knot(46.3Km/h), 40Knot(74.08Km/h) 및
55Knot(101.86Km/h), 두 번째는 드론의 길이로서
1M, 2M 및 3M, 세 번째는 드론의 폭으로서 2M,
3M 및 4M, 마지막은 드론의 높이로서 2M, 3M 및
4M로 각 구분하여 대입하였다. 이에 따른 드론 시
나리오는 <표 5>과 같다.

Table 5. Drone Substituting Scenarios

Variables	Scenarios								
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
$ \bar{v} $	25	40	45	25	40	45	25	40	45
λ_x	1m			2m			3m		
λ_y	2m			3m			4m		
λ_z	2m			3m			4m		

2. 모형 결과

1) 드론 안전 목표 수준(TLS: Target Level of
Safety) 만족 범위

국제민간항공기구(이하 ICAO)에서 명시하고 있
는 항공기 안전 목표 수준 만족 범위(이하 TLS)는
<그림 3>과 같이 2.50E-09(4억시간 당 1회 충돌)
로 규정하고 있다.

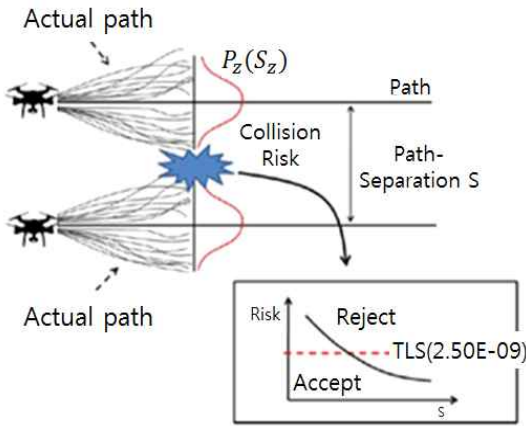


Fig 3. Crash Risk and ICAO TLS

즉 <표 6>과 같이 Reich 모델에 대입한 드론 시나리오의 TLS 값이 ICAO의 목표 수준의 TLS 값보다 낮다면 항공기의 안전 목표를 충족한다.

Table 6. Acceptance Range of TLS

Comparisons	Results
Scenario TLS $\leq$ ICAO TLS	Accept
Scenario TLS $>$ ICAO TLS	Reject

현재 ICAO 및 국내 논문을 통해 제시된 $P_z(S_z)$ 값은 총 6개로서 h(최소 수직 분리 간격)는 최소 $\pm 100\text{ft}$ 에서 $\pm$ 최대 650ft 이다. 이 중 항공법에서 명시한 Max. Height(150m 이하) 이내의 조건을 넘는 $\pm 650\text{ft}(198.12\text{m})$ 을 제외한 5개 $P_z(S_z)$ 값을 <표 7>의 9개의 드론 도입 시나리오 대입해본 결과 $\pm 100\text{ft}$, $\pm 150\text{ft}$ 및 $\pm 250\text{ft}$ 의 $P_z(S_z)$ 값을 사용한 시나리오 TLS 결과 값이 ICAO TLS 값보다 낮은 것으로 나타났다.

이는 도시 공간 내에서 드론의 안정적 운영을 위해서는 최소 수직 분리 간격을 $\pm 100\text{ft}$ 에서 최대 $\pm 250\text{ft}$ 까지로 한정해야 됨을 의미한다.

Table 7. Model Results

h	Scenarios			ICAO TLS	Results
	#1	#2	#3		
$\pm 100\text{ft}$	3.37E-11	3.21E-11	3.14E-11	2.50E-09	O*
$\pm 150\text{ft}$	1.25E-10	1.20E-10	1.17E-10		O
$\pm 250\text{ft}$	3.57E-10	3.41E-10	3.33E-10		O
$\pm 300\text{ft}$	7.14E-05	6.81E-05	6.66E-05		X**
$\pm 500\text{ft}$	1.25E-07	1.19E-07	1.17E-07		X
h	Scenarios			ICAO TLS	Results
	#4	#5	#6		
$\pm 100\text{ft}$	3.50E-11	3.30E-11	3.20E-11	2.50E-09	O
$\pm 150\text{ft}$	1.30E-10	1.23E-10	1.19E-10		O
$\pm 250\text{ft}$	3.72E-10	3.50E-10	3.40E-10		O
$\pm 300\text{ft}$	7.43E-05	6.99E-05	6.80E-05		X
$\pm 500\text{ft}$	1.30E-07	1.22E-07	1.19E-07		X
h	Scenarios			ICAO TLS	Results
	#7	#8	#9		
$\pm 100\text{ft}$	3.57E-11	3.34E-11	3.24E-11	2.50E-09	O
$\pm 150\text{ft}$	1.33E-10	1.24E-10	1.20E-10		O
$\pm 250\text{ft}$	3.79E-10	3.54E-10	3.43E-10		O
$\pm 300\text{ft}$	7.58E-05	7.09E-05	6.86E-05		X
$\pm 500\text{ft}$	1.33E-07	1.24E-07	1.20E-07		X

O*: Accept X**: Reject

2) 드론 안전 목표 수준(TLS) 변화 관계

도출된 TLS 값을 드론의 속도, 크기 및 $P_z(S_z)$ 의 변동에 따른 변화를 살펴보면 드론의 속도가 빨라질수록 TLS 값은 하락하며, 드론의 크기가 증가될수록 드론의 $P_z(S_z)$ 의 변동 폭이 커질수록 TLS 값은 상승함을 보여준다.

첫 번째 드론의 속도 변화에 따른 TLS 값의 변화를 보면 <표 8>과 같다. 드론의 속도가 25Knot(46.3Km/h)에서 40Knot(74.08Km/h)로 증가하게 되면 TLS는 약 4.62% 감소하고, 40Knot에서 55Knot(101.86Km/h)로 증가하게 되면 TLS는 약 2.19%감소한다. 즉 드론의 속도가 증가할수록 TLS 값은 하락한다.

Table 8. Fluctuations by Drone Speed

$ V $	TLS	변화율	비고
25	3.37E-11	- 4.62%	TLS declines as drone speed increases
40	3.21E-11		
55	3.14E-11		

두 번째 드론의 크기 변화에 따른 TLS 값의 변화를 보면 <표 9>과 같다. 드론의 길이가 1M에서 2M로 증가하게 되면 TLS는 약 4.09% 증가하고, 2M에서 3M로 증가하게 되면 TLS는 약 1.97% 증가한다. 즉 드론의 길이가 커질수록 TLS 값은 상승한다.

Table 9. Fluctuation by Drone Sizes

λ_x	TLS	변화율	비고
1	3.37E-11	+ 4.09%	TLS increase as drone size increases
2	3.50E-11		
3	3.57E-11		

세 번째 드론의 $P_z(S_z)$ 변동 폭의 변화에 따른 TLS 값의 변화를 보면 <표 10>과 같다. 드론의 $P_z(S_z)$ 가 $\pm 100\text{ft}$ 에서 $\pm 150\text{ft}$ 로 증가하면 TLS는 약 272.22% 증가하고, $\pm 150\text{ft}$ 에서 $\pm 250\text{ft}$ 로 증가하면 TLS는 약 184.90% 증가한다. 즉 드론의 $P_z(S_z)$ 를 크게 허용할수록 TLS 값은 상승한다.

Table 10. Fluctuation by Drone $P_z(S_z)$

$P_z(S_z)$	TLS	변화율	비고
$\pm 100\text{ft}$	3.37E-11	+ 272.22%	TLS increase as drone $P_z(S_z)$ increases
$\pm 150\text{ft}$	1.25E-10		
$\pm 250\text{ft}$	3.57E-10	+ 184.90%	

위의 결과를 종합하면, 향후 도시 내 드론 비행의 안전도를 높이기 위해서는 특정한 속도 이하로 비행하도록 제약하여야 하며, 드론의 최대 크기는 한정하여야 한다. 그리고 드론 비행 시 수직 이동 범위는 최대한 작게 적용하여야 한다는 것을 의미한다. 특히 드론의 속도 변화 및 드론의 크기 변화보다 TLS에 큰 영향을 미치는 것은 드론의 $P_z(S_z)$ 로서 속도 및 크기의 제약보다 우선적으로 $P_z(S_z)$ 값의 변화에 따른 영향을 분석하여 적용하여야 한다는 것을 의미한다.

3) 공간 구조의 분할

분석 결과를 토대로 고도 150m이하를 드론의 비행이 가능한 구역으로 구분하면 최대 두 개의 구역으로 나누어진다. 이는 9개의 드론 도입 시나리오 중 ICAO의 TLS 기준을 만족하는 시나리오의 가장 최소값인 $\pm 100\text{ft}$ (30.48M)를 적용한 것이다. 즉 드론의 안정적인 비행을 위하여 공역을 임의의 두 개의 A 및 B 구역으로 분할하여 사용하여야 하며, 이에 대한 표현은 아래 <그림 4>과 같다.

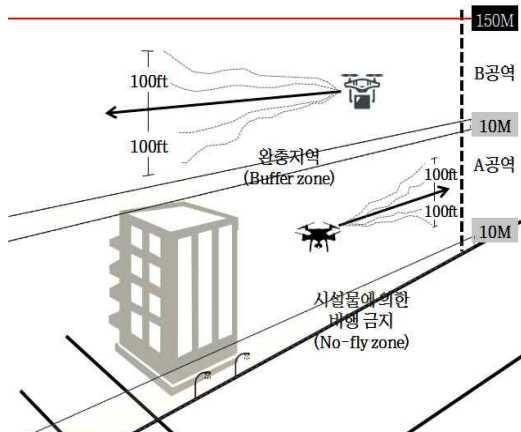


Fig 4. Urban Space Division Planning

다만 본 분석을 위해 활용한 $P_z(S_z)$ 값의 한계로 인해 최종 $P_z(S_z) \pm 100\text{ft}$ 를 대입한 두 개의 구역으로 분할되어 제시되었지만, 향후 드론을 위한 $P_z(S_z)$ 값이 설정되면 해당 구역을 더욱 세분화하여 나눌 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문의 목적은 드론 도입을 위한 도시 입체계획의 첫 단계로서 도시 공역을 효율적이고 안정적으로 사용하기 위하여 항공법에서 제한하는 고도 150M 이하에서 드론의 동시 비행이 가능한 최소 수직 안전거리를 검증하고 이를 통해 도시 공간 분할의 초기모델을 제시하는 것이다.

해당 목적을 달성하기 위하여 본 논문에서는 드론의 수직 중첩 안전도를 정량적으로 측정 가능한 국제민간항공(ICA)의 Reich 모델을 활용하였다. 그리고 드론의 안전 비행 수준(TLS)에 영향을 주는 인자를 확인하기 위하여 드론의 속도, 드론의 크기 및 드론의 동일한 항공로를 운항하는 두 항공기의 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)의 값을 변화한 9개로 시나리오로 설정 뒤, Reich 모델에 적용하여 국제민간

항공의 안전 비행 수준(TLS)값과 비교하여 만족하는 안전 비행 수준(TLS)값을 도출하였다.

분석결과를 요약하면, 첫째, 국제민간항공(ICA)의 안전 비행 수준(TLS)를 만족하는 드론의 수직 이동은 최소 $\pm 100\text{ft}$ (30.48M)까지 가능함을 확인하였다. 둘째, 안전 비행 수준(TLS)에 영향을 미치는 인자는 드론의 속도 변화 및 드론의 크기 변화보다 드론의 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)로서, 향후 드론의 비행 제약 조건을 설정 시 드론의 속도 및 드론의 크기 설정보다 우선하여 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)값을 적용하여야 함을 도출하였다. 마지막으로 도시 내 고도 150M 이하의 공간은 안전 비행 수준(TLS)를 기준으로 최대 두 개의 구역으로 나누어지며, 최대 2대의 드론이 동시 비행 가능함을 제시하였다.

이러한 결과를 도출함에 있어서 본 논문은 다음과 같은 한계를 가진다.

첫째, 드론의 수직 중첩 분석을 위해 활용한 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)값의 문제이다. 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)은 국제민간항공과 국내 논문에서 제시한 최소 $\pm 100\text{ft}$ 에서 최대 650ft의 수치로서 유인 항공기보다 작은 크기 및 낮은 고도를 비행하는 드론에도 유인 항공기와 동일한 기준을 적용하였다는 한계를 가진다. 향후 드론을 위한 수직 중첩확률($P_z(S_z)$)이 도출되어 명확한 값을 재적용하여야 한다.

둘째, 대입한 드론의 4개 인자(평균 속도, 길이, 폭 및 높이 변수)의 현실적인 가정이다. 본 논문에서는 대입 인자의 변수 데이터 구축 한계로 드론의 4개 인자만 변화를 주어 대입하였다. 따라서 향후 과제에서는 드론 비행에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자를 구체적으로 고려하는 것이 필요하다.

마지막으로 본 논문에서 고려해보지 못한 부분으로서 드론의 사고 위험과 추후 논의가 필요한 드론

운영에 따른 개인 프라이버시 침해의 해결 방안이다. 이에 대한 연구 및 논의가 본격적으로 진행되어야 한다.

인용문헌

References

1. 김장환·한재현·안미진, 2012. "PBN 적용을 위한 B576 항공로의 정량적 안전평가 사전 분석", 「국토연구」, 19(2): 93-113.
Kim, C. H., Han, J. H. and Ahn, M. J., 2012. "Preliminary Analysis on Safety Assessment of ATS Route B576 before the Implementation of PBN Road Map", *Journal of Transport Research*, 19(2): 93-113
2. 조현수, 2015. "항공로 수직안전평가모형을 이용한 안전도 분석", 한국항공대학교 일반대학원 석사학위 논문.
Cho, H. S., 2015. "A Study of Safety Level on Vertical Collision Risk Model for ATS Route", MPhil. Dissertation, Korea Aviation University.
3. 한재현·이금진·안미진·김연명, 2010. "차세대 항공 교통관리시스템(NGAS) 도입을 위한 기초연구", 「한국교통연구원 기본연구보고서」, 1-215.
Han, J. H., Lee, K. J., Ahn, M. J. and Kim, Y. M., 2010. "Preliminary Study for the Next Generation ATM System in Korea", *The Korea Transport Institute*, 1-215
4. 이효진, 2013. "감시시스템 정확도 성능에 따른 항공기간 최소분리간격 설정에 관한 연구", 한국항공대학교 일반대학원 석사학위 논문.
Lee H. J., 2013. "A Study on Separation Minima Determination based on Surveillance System Accuracy Performance", MPhil. Dissertation, Korea Aviation University.
5. 김성겸·신대원, 2006. "인천 비행정보구역의 RVSM 안전성 평가 연구", 「한국항공운항학회」, 14(1): 49-54.
Kim, S. K. and Shin, D. W., 2006. "Flight Operation ; The Study on RVSM Safety Assessment of Incheon FIR", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Flight Operation*, 14(1): 49-54.
6. 국회도서관, 2016. "무인항공기 관련 오스트리아 입법례 - 무인항공기의 법적 분류와 안전관리를 중심으로", 서울.
National Assembly Library, 2016. *Austrian Legislation on Unmanned Aerial Vehicles - Focused on Legal Classification and Safety Management*, Seoul.
7. 신현주, 2016. "경찰 드론의 활용 전략과 과제에 관한 연구", 「한국치안행정논집」, 13(1): 211-232.
Shin, H. J., 2016. "A Study on Strategies and Tasks of Police Drones", *Journal of Korean Association for Public Security Administration*, 13(1): 211-232.
8. 강욱·이병석, 2016. "경찰활동에서 드론의 이용방안에 관한 연구-대리인 이론을 중심으로", 「한국경찰학회보」, 18(5): 3-30.
Kang, W. and Lee, B. S., 2016. "A Study on the Applications of Drones in Police Activities - Focused on Principal-agent Theory", *The Korean Association of Police Science Review*, 18(5): 3-30.
9. 이성재, 2016. "고정의 회전익 무인항공시스템의 노천광산 현장 활용", 부경대학교 대학원 석사학위 논문.
Lee, S. J., 2016. "Utilization of unmanned aerial system open-pit mine field", MPhil. Dissertation, Bukyung University.
10. 손유진, 2016. "드론을 활용한 군사시설 및 방위력시설 유지 관리 적용방안", 한양대학교 공학대학원 석사학위 논문.
Shon, Y. J., 2016. "A Military Facilities and Defense Facilities Maintenance Measures Using Drone", MPhil. Dissertation, Hanyang University.
11. 박진평, 2015. "무인항공시스템(UAV)을 이용한 접근난해지역의 지적정보 취득 및 활용에 관한 연구", 청주대학교 대학원 박사학위 논문.
Park, J. P., 2015. "A Study of Acquisition and

- Application of Cadastral Information in Inaccessible Area Using UAV", Ph. D. Dissertation, Cheongju University.
12. 신관우·임대호, 2014. "민간경비영역의 무인기 도입 방향", 『한국경찰연구』, 13(3): 163-188.
Shin, G. W. and Im, D. H., 2014. "A Study on Systematic direction for the Introduction of UAV in the private security", *The Korean Association of Police Science Review*, 13(3): 163-188.
 13. 한국교통연구원, 2010. "차세대 항공교통관리시스템(NGAS) 도입을 위한 기초연구", 세종.
The Korea Transport Institute, 2010. *Preliminary Study for the Next Generation ATM System in Korea*, Sejong.
 14. 서울시, 2017. "2017년도 공간정보 업무지침", 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2017. *Guidelines for spatial information work in 2017*, Seoul.
 15. 김기열, 2014. "무인항공기 발전추세에 따른 한국군의 실태분석과 발전과제 - 전술제대 무인항공기 운용을 중심으로", 국민대학교 정치대학원 석사학위 논문.
Kim, G. Y., 2016. "ROK Analysis and Development of Projects in Accordance with the Development trend of Unmanned Aircraft-Focusing on the Tactical Echelon UAV Operations", MPhil. Dissertation, Kookmin University.
 16. 김지향, 2015. "초경량 무인비행장치를 활용한 공간정보 취득에 대한 연구", 강원대학교 정보과학행정대학원 석사학위 논문.
Kim, J. H., 2015. "A Study on the Acquisition of Spatial Information using an Ultralight Unmanned Aerial Vehicle", MPhil. Dissertation, Kangwon University.
 17. 국회입법조사처, 2015. "무인항공기 비행안전 제고를 위한 입법 정책 과제", 서울.
National Assembly Research Service, 2015. *Legislative policy task for improving flight safety of unmanned aircraft*, Seoul.
 18. Li, X. B., Wang, D. S., Lu, Q. C., Peng, Z. R., Lu, S. J., Li, B. and Li, C., 2017. "Three-dimensional investigation of ozone pollution in the lower troposphere using an unmanned aerial vehicle platform", *Environmental Pollution*, 224: 107-116.
 19. Castelli, T., Sharghi, A., Harper, D., Tremeau, A. and Shah, M., 2016, "Autonomous navigation for low-altitude UAVs in urban areas", New York: Cornell University Library.
 20. Boutilier, J. J., Brooks, S. C., Janmohamed, A., Byers, A., Buick, J. E., Zhan, C., Schoellig, A. P., Cheskes, S., Morrison, L. J. and Chan, T. C. Y., 2017. "Optimizing a Drone Network to Deliver Automated External Defibrillators", *CIRCULATION*, 135: 2454-2465.
 21. Oubbati, O. S., Lakas, A. L., Zhou, F., Gunes, M., Lagraa, N. and Yagoubi, M. B., 2017. "Intelligent UAV-assisted routing protocol for urban VANETs", *Computer Communications*, 107: 93-111.

Date Received	2017-11-02
Reviewed(1 st)	2017-12-14
Date Revised	2018-01-02
Reviewed(2 nd)	2018-01-06
Date Accepted	2018-01-06
Final Received	2018-01-15