

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.2.094>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

최저비행고도와 UAS 운영제한고도 구축에 관한 연구

김도현*, 이동진**

A Study on the Establishment of Minimum Safe Altitude and UAS Operating Limitations

Do Hyun Kim*, Dong Jin Lee**

ABSTRACT

UTM is an air traffic management ecosystem under development for autonomously controlled operations of UAS by the FAA, NASA, other federal partner agencies, and industry. They are collaboratively exploring concepts of operation, data exchange requirements, and a supporting framework to enable multiple UAS operations beyond visual line-of-sight at altitudes under AGL 500ft in airspace where air traffic services are not provided. Minimum Safe Altitude is a generic expression, used in various cases to denote an altitude below which it is unsafe to fly owing to presence of terrain or obstacles. The European drone regulation mentions that the UAS is maintained within 120 metres from the closest point of the surface of the earth during flight, except when overflying an obstacle. This study attempted to develop a minimum flight altitude database system. Based on domestic and international rules and regulations on setting the minimum flight altitude it is expected that it can be applied to the operation of aircraft and unmanned aerial system in UTM environments for specific area in Korea.

Key Words : UTM(무인항공시스템교통관리), Minimum Safe Altitude(최저비행고도), UAS Operating Limitation(무인항공시스템운영제한고도), U-Airspace(유럽 무인항공시스템교통관리), Digital Surface Model(수치표면모델)

1. 서 론

미국연방항공청(Federal Aviation Administration; FAA)의 무인항공시스템교통관리(Unmanned Aerial System Traffic Management; UTM)는 지상고도(above ground level; AGL) 400ft(120m) 이하의 비관제구역(G등급) 및 관제구역(B·C·D·E등급)에서 무인항

공시스템(unmanned aerial system; UAS)이 안전하게 운용될 수 있도록 지원하는 체계를 말한다[1].

미국의 UTM 개념과 동인한 유럽 U-space는 다수의 드론이 저고도 공역(150m 미만) 내에서 안전하고 효율적으로 운용될 수 있도록 설계된 서비스 및 절차이다 [2]. 유럽연합은 기존의 비행규칙 이외에 150m 미만에서 UAS에 적용할 수 있는 비행규칙 개발을 진행 중이다.

항공교통관제기관은 비관제구역(G등급, AGL 300m)에서 분리업무를 제공할 책임이 없으므로, 이 공역에서 유인항공기는 정해진 비행규칙에 따라 시각적 방법을 이용하여 운항하며, 이를 지원하기 위한 협력적·전략적 교통관리[3]가 이루어진다. 관제구역에서 운항하는 항공기는 다양한 관제업무를 제공받지만, 150m(500ft) 미만

Received: 25. May. 2021, Accepted: 28. Jun. 2021

* 한서대학교 항공교통물류학부 교수

연락처 E-mail : dhkim@hanseo.ac.kr

연락처 주소 : 충남 태안군 남면 곱섬로, 한서대학교 태안비행장

** 한서대학교 무인항공기학과 교수

에서 운영되는 UAS에게 제공되어야 하는 서비스는 현재 법규정으로 정비되어 있지 못하다.

최저비행고도(minimum safe altitude; MSA)는 ICAO 부속서 2(rules of the air)에서 'the lowest safe altitude'로 명명되는데, 의미는 항공기운항에 영향을 줄 수 있는 지형 또는 장애물로부터 안전 운항을 보장할 수 있도록 설정된 최저고도를 말한다.

UTM 공역에서 유인항공기와 UAS가 조화롭게 운영되기 위해서는 이종(異種)의 비행규칙이 적용되어야 하는 운영환경에 적합한 협력적(collaborative)[4]·전략적(strategic) 교통관리가 필요하다. 전략적 교통관리는 공역 및 교통흐름관리를 통하여 비행계획 공유, 공역제약 사항 평가, 기상정보제공 등으로 기술적 분리의 필요성을 줄이고, 동시에 기상 및 공역 제약사항으로 인한 비행경로 변경 가능성을 줄인다[5].

본 연구는 전략적 교통관리를 위한 비행 공역 제어에 관한 연구로, 최저비행고도 설정에 대한 국내의 법규정을 검토하여 국내 특정 지역을 대상으로 UTM 환경에서의 항공기 및 UAS 운용시 적용할 수 있는 최저비행고도 데이터베이스화 방안에 관하여 수행하였다.

II. 최저비행고도 및 UAS 운영고도

2.1 비행규칙에 따른 최저비행고도

ICAO의 최저비행고도 기준은 부속서 2(rules of the air)에서 규정하고 있다. 세부내용으로 시계비행방식(visual flight rules; VFR)으로 비행시, 도시 및 인구밀집지역 상공에서는 항공기를 중심으로 반경 600m 범위 내 가장 높은 장애물의 상단에서 300m(1,000ft) 이상(Annex 2, 4.6)으로, 그 외 상공에서는 지표면 또는 수면의 150m(500ft) 이상(Annex 2, 4.6)으로 비행해야 한다.

계기비행방식(instrument flight rules; IFR)인 경우, 최저비행고도는 산악지역에서 항공기중심으로 반경 8km 내에 있는 가장 높은 장애물로부터 600m(2,000ft) 이상(Annex 2, 5.2)으로, 그 외 지역은 반경 8km 범위 내에 있는 가장 높은 장애물로부터 300m(1,000ft) 이상(Annex 2, 5.2)으로 설정하고 있다(Table 1 참조).

국내 항공안전법 제68조(항공기의 비행 중 금지행위 등)에서 항공기를 운항하려는 사람은 생명과 재산을 보호하기 위해 허가를 받은 경우를 제외하고, 국토교통부령으로 정하는 최저비행고도 아래에서의 비행은 금지하고 있다. 여기서 국토교통부령으로 정하는 최저비행

Table 1. MSA regulation(general)

구분	최저비행고도 기준	
VFR	밀집지역 (人·物)	항공기중심 600m내 최고장애물 +300m(1,000ft)
	이외지역	지면·수면 또는 물체 +150m (500ft)
IFR (EU; 야간 VFR)	산악지역	항공기중심 8km(4NM)내 최고장애물 +600m(2,000ft)
	이외지역	항공기중심 8km(4NM)내 최고장애물 +300m(1,000ft)

고도(동법 시행규칙 제199조)는 ICAO에서 정하는 기준과 같다.

유럽의 최저비행고도(minimum flight altitude) 기준에 대한 기준은 유럽연합 항공규칙(Standard European Rules of the Air) Section 5 시계비행규칙(VFR) 및 계기비행규칙(IFR)에 관한 규정[6]에서 정하고 있다. ICAO 기준과 동일하지만 VFR비행시 밀집지역 이외의 지역에서 항공기로부터의 반경이 500ft (150m) 내로 규정하고 있고, 야간 VFR 운항시에는 IFR 기준을 적용함에 기준 차이이다.

미국은 14CFR Part 91에 최저비행고도에 대해 규정하고 있는데, 기준은 ICAO와 유사하다. 다만, 밀집지역 이외 지역에서는 사람·선박·차량·구조물에서 500ft 이내에서 항공기를 운항해서는 안된다는 규정이 추가되어 있다(Fig. 1 참조).

2.2 UAS 운영고도제한

국내 무인비행장치가 속하는 초경량비행장치는 국토교통부령(동법 시행규칙 제308조 제5항)으로 정하는 고도 이상에서 비행하는 경우, 국토교통부장관의 비행승인을 받아야 한다고 명시하고 있다(Table 2 참조). 이는 무인비행장치를 운영해야 하는 상한고도를 규정하는 것으로, 최저비행고도가 지형이나 장애물로부터 항공

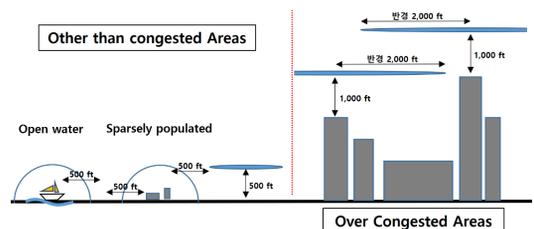


Fig. 1. Concept of MSA (14CFR part 91)

Table 2. UAS operating limitations in Korea

구분	항공안전법 시행규칙 제308조 5항	
무인비행장치	밀집지역 (人·物)	무인비행장치중심 150m내 최고장애물 +150m
	이외지역	지면·수면·물체 상단 +150m

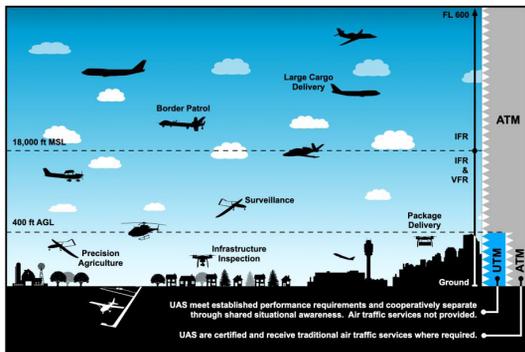
기의 안전운항을 보장하기 위한 규정이라면, 무인비행장치 운영고도제한은 유인항공기와와의 안전운항을 확보하고자 무인비행장치의 운영 공역을 제도적으로 분리하는 일종의 전략적 교통관리 방법이다.

미국 14CFR Part 107.51 sUAS의 운영제한규정에서 ‘구조물의 반경 및 최대 상한선 상공 400ft 이내’에서 운영하는 경우를 제외하고, AGL 400ft를 초과(not be higher than)할 수 없도록 규정하고 있다. ‘AGL 400ft 이내’는 기존의 유인항공기 교통관리(ATM)체계에서 비관제공역(G등급) 및 관제공역(B·C·D·E등급)과 일부 공유되는 구간으로, 이 저고도 공역에서 적용될 수 있는 새로운 비행규칙의 정립이 필요하다.

FAA ‘UTM concept of operations V2.0’은 ATM과 UTM이 공유되는 공역에서 UTM 운영과 관련된 필수 개념 및 운영 요소를 설명(Fig. 2 참조)하고 있다.

유럽은 국가별로 UAS의 운용제한고도에 차이가 있다. 사례로 벨기에·체코 등은 100m, 영국·네덜란드·스페인·스웨덴 등은 120m, 프랑스·이탈리아 등은 150m 미만에서의 운용을 규정한다.

2020년 개정된 유럽연합의 Commission Implementing Regulation-2020/639에서 Open 등급 및 Specific 등급 UAS는 AGL 120m 미만에서의 운용하



Source: FAA, UTM Concept of Operations v2.0, 2020.

Fig. 2. UTM operation concept of FAA

는 것으로 규정하고 있다.

2019년 Eurocontrol이 정의한 VLL(very low level, U-space 공역)은 VFR이 적용되는 공역 하부인 AGL 150m(500ft) 미만을 의미한다.

EASA가 UAS를 대상으로 한 flight rules 관련 문헌(7)은 VLL을 Eurocontrol과 같이 정의하면서 이 공역에서 적용되어야 할 새로운 비행규칙으로 LFR(low-level flight rules)를 제안하고, 적용 고도를 AGL 150m (500ft) 미만으로 규정하였다.

Eurocontrol은 VLL내 모든 공역을 X·Y·Z 유형으로 구분하였다(2). X유형은 Open 등급으로, 도심외곽에 설정되며 낮은 U-space 서비스수요가 예상된다. Y 유형은 도심지역에서 가시거리 밖(beyond visual line of sight; BVLOS) 운용수요가 예상되는 공역이며, Z 유형은 고 인구밀도지역으로, 원격조종자 상시 U-space 연결 및 tracking이 가능한 위치보고성능을 갖춘 UAS가 운용되는 공역이다(Fig. 3 참조).

III. 최저비행고도 및 운영제한고도 구축

3.1 기초자료 분석

우리나라를 포함 ICAO, FAA 및 유럽연합 등에서 UAS 운영고도를 400ft 이하 또는 150m 미만으로 제한하고 VFR 및 IFR 최저비행고도를 설정함은 기존의 ATM 환경에 UTM이 공존할 수 있는 방법을 구하는 것이다. Fig. 4는 유인 항공기로부터 UAS를 보호하도록 설계된 수직 및 측면 완충공간을 확인할 수 있다.

본 연구는 국내 드론 전용비행시험장이 운영 중인 A 지역을 대상으로 최저비행고도 UAS 운영고도 구축을 시범적으로 수행하기 위해 100m 격자 그리드 지도를 QGIS 3.14, QGIS 2.18을 활용하여 제작하였다.

구축 범위는 군청을 중심으로 반경 약 6km 지역으



Fig. 3. Airspace volume(X·Y·Z) in VLL

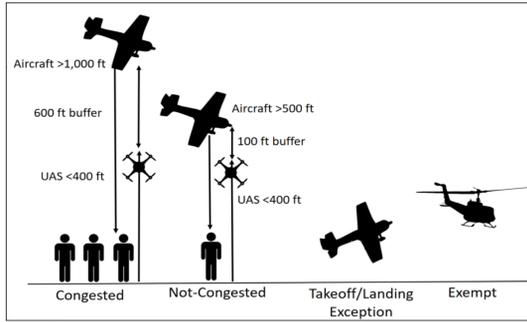


Fig. 4. MSA and sUAS operating limitations in FAR part 91 & 107(8)

로 설정하였고, 해당 지역 표고(elevation)는 산간지역을 제외하고 약 250~300m로 조사되었다. 고층 아파트를 비롯한 주요 시설 및 장애물의 높이와 지역 공역 현황을 파악하여 Fig. 5와 같이 기초자료를 수집하였다[9].

항공기 및 무인비행장치를 포함한 초경량비행장치는 이·착륙할 때와 항공당국으로부터 별도의 허가를 받았을 경우를 제외하고, 항상 최저비행고도 등 고도제한 기준을 준수하여 운용되어야 한다.

국내에서 비행하는 항공기의 최저비행고도는 항공안전법 시행규칙 제199조(최저비행고도)에서 명시하고 있다. VFR 항공기의 최저비행고도는 본 연구 2.1에서와 같이 사람 또는 건축물이 밀집된 지역의 상공에서는 항공기를 중심으로 수평거리 600m 범위 내 지역에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 300m 고도, 그 외의 지역에서는 지표면·수면 또는 물체의 상단에서 150m로 규정하고 있다.

무인비행장치를 포함한 초경량비행장치는 사람 또는 건축물이 밀집된 지역의 경우 해당 비행장치를 중심으로 수평거리 150m 범위 안에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 150m, 그 외의 지역에서는 지표면·수면

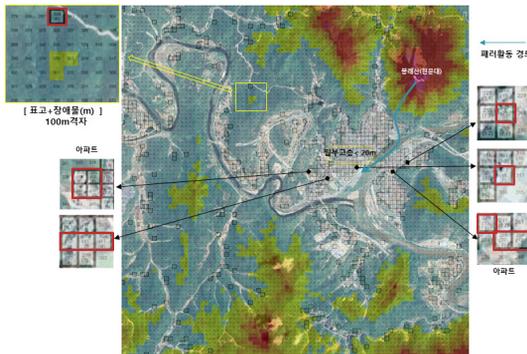


Fig. 5. Grid map with obstacle data - 100m

또는 물건의 상단에서 150m 이내에서 국토교통부장관의 비행승인 없이 운용할 수 있다.

항공법규정에서 ‘인구밀집지역’이라는 용어가 자주 사용되고 있으나, 용어의 정의는 없다. 원자로서설의 위치제한에 적용되는 지침에 포함된 “인구중심지를 인구밀도가 국가 평균인구밀도를 초과하는 총인구 25,000명 이상의 인구밀집지역을 말한다”는 정의[10]를 바탕으로, 본 연구에서는 ‘인구밀집지역’을 국가의 평균인구밀도를 기준으로 그보다 인구밀도가 상회하는 지역으로 정의하였다.

국토지리정보원 ‘2019 국토모니터링 보고서’에서 2019년 10월 기준 평균인구밀도는 1km²당 496.8명으로, 0.25km² 기준으로 124.2명으로 조사되었다. 항공안전법 기준에 맞추어 보면, 인구밀집지역은 반경 600m 내 178.8명, 반경 300m 내 44.7명, 반경 150m 내 11.1명을 초과하는 지역이 해당한다(Fig. 6 참조).

이를 바탕으로 연구대상 지역의 인구분포를 조사한 결과, 0.1km²당 25명 이상을 보이는 지역을 그리드 지도로 표시하면 Fig. 7과 같다.

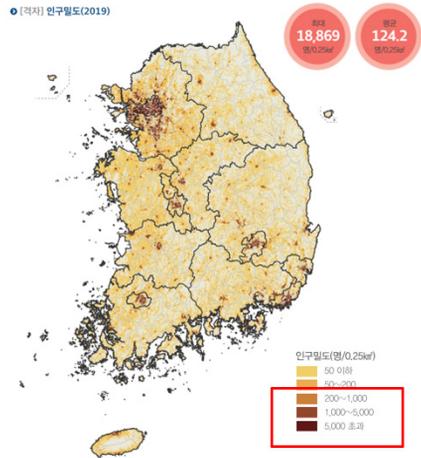


Fig. 6. Population density of Korea (2019, 10)

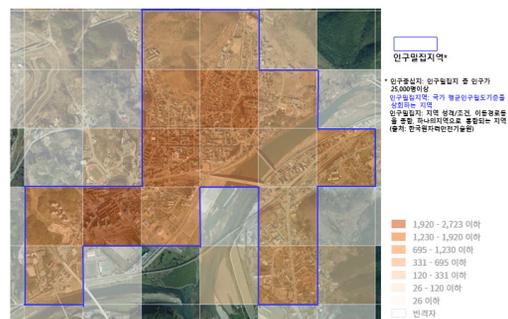


Fig. 7. Population distribution (target area)

3.2 시범고도 구축 모델링 및 결과

본 연구는 연구대상 지역의 UTM 운용제한고도를 AGL 150m 미만으로 설정하고, VFR 항공기의 최저비행고도는 항공안전법에서 정하는 기준에 따라 적용하고자 한다. 조사된 해당 지역의 인구밀도를 고려하여 VFR 항공기와 UAS가 운용될 수 있는 최저비행고도 및 운영제한고도를 구축하기 위해 다음의 수식을 적용하였다.

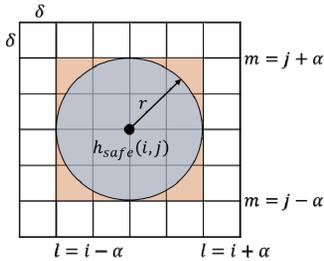
$$\alpha = \frac{\gamma}{\delta}, \quad (\gamma : \text{scanradius}, \delta : \text{mapresolution})$$

$$i - \alpha \leq l \leq i + \alpha, \quad j - \alpha \leq m \leq j + \alpha$$

$$h_{safe}(i, j) = \max_{l, m} h_{DSM}(l, m) + \text{separation}$$

where

$$i = 1, 2, \dots, \text{mapsize}, \quad j = 1, 2, \dots, \text{mapsize}$$



대상 지역 100m 격자지도에서 각 셀의 표고 높이에 장애물 높이를 더한 값을 수치표면모델(Digital Surface Model; DSM) 3D 형상으로 표현하면, Fig. 8과 같다. 분석된 수치표면모델을 바탕으로 항공안전법에서 정하는 VFR 최저비행고도 및 UAS 운영제한고도 기준을 적용한 결과, Fig. 9 및 10에서 보는 바와 같이 VFR 항공기의 최저비행고도와 UAS 운영제한고도 사이에 0초과 150m미만의 완충구간이 존재하는 것을 알 수 있으면, 이를 3차원으로 도시하면, Fig. 11과 같다.

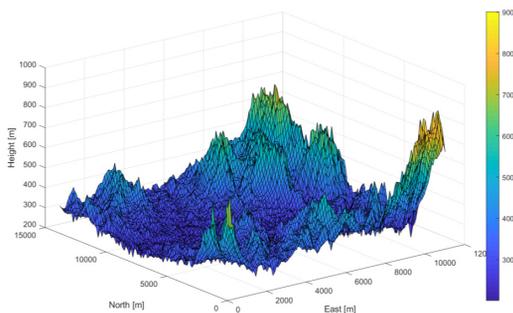


Fig. 8. Digital surface modeling graph

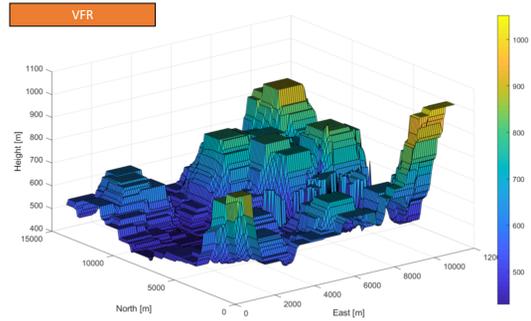


Fig. 9. MSA (target area)

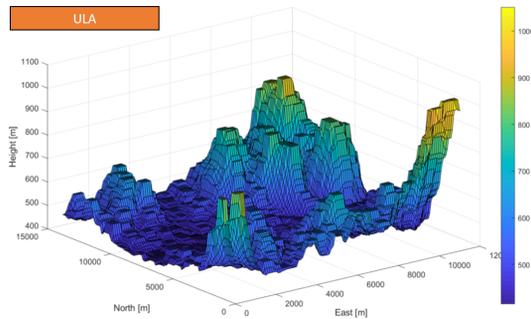


Fig. 10. UAS operating limitation (target area)

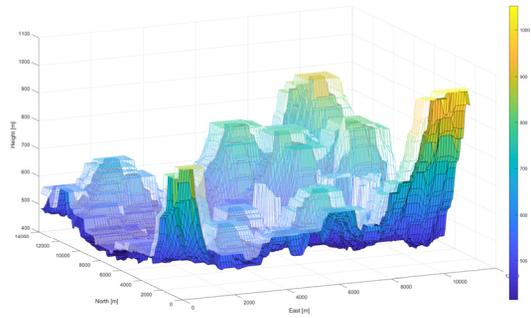


Fig. 11. Buffer area between MSA and UAS operating limitations

연구대상 지역에서 완충구간의 간격 평균은 59.46m로, 최소 간격은 0m, 최대 간격은 343.8m임을 확인할 수 있다. 또한 완충구간 중 간격이 0~30m인 구간(적색; 0m, 청색; 30m 이하)은 Fig. 12에서 보는 바와 같으며, 전략적 교통관리에 활용시, 안전운항을 위한 유인항공기 및 UAS 경로 선택에 도움이 될 것이다(Fig. 12 참조).

비록 FAA와 유럽연합에서 UTM(U-space) 운영고도 제한을 150m 미만인 아닌 120m 이하로 설정하고 있으나, 우리나라는 현 항공안전법에서 규정하고 있는

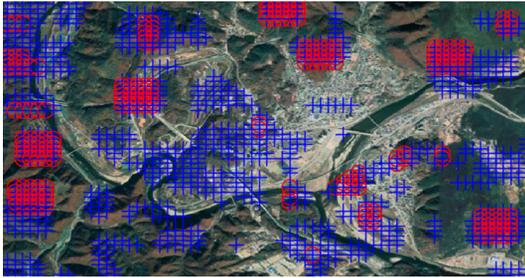


Fig. 12. Buffer area (0~30m) with map

바와 같이 150m 미만을 유지하고 지역별 공역 현황에 따라 유연하게 대처함이 타당할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

UAS의 운용은 기존의 유인항공기 운용환경인 ATM 환경에 궁극적으로 통합될 수 있도록 연구개발이 진행되고 있다. 같은 맥락에서 UAS가 UTM 환경에서 ATM과 조화를 이루기 위해서는 전략적 교통관리는 필수적으로 필요하다.

최저비행고도는 항공기의 안전운항과 함께 인명과 재산을 보호한다는 관점에서 설정된 규정이며, UAS 운영제한고도는 기존의 ATM 환경에서 UAS의 안전운용을 확보하기 위한 제도적 장치로, 이는 기본적으로 두 환경 간의 완충공간을 두고 있음을 의미한다.

본 연구는 최저비행고도 표면과 운영제한고도표면을 수치화하여 ATM 및 UTM에서 활용하기를 제안한다. 이 수치표면 자료는 VFR 항공기가 장애물 및 지형층들을 보다 전략적으로 방지할 수 있도록 도움을 줄 것이다. 또한 UAS는 구체화된 수치자료를 바탕으로 VFR 항공기와 효과적인 분리는 물론, 3D 형상화를 통해 가용한 UAS 운용경로 및 회랑 구축에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 국토교통부에서 지원한 “저고도 무인비행장치 교통관리(UTM) 시스템 설계 및 구축” 사업 중 한 국항공우주연구원 위탁 ‘UTM 공역 내 무인비행장치 운영 안전기준 연구’ 과제의 연구결과 일부입니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. FAA, “UTM Concept Of Operations V2.0, FAA NextGen Office”, 2020, p.4, 23.
2. SESAR, “CORUS-U-space Concept of Operations”, 2019, p.9.
3. Yang, H. M. and Kim, D., “The Fundamentals of Air Traffic Management”, Korea Aerospace University Press, 5th Edition, 2018, p.29.
4. <https://www.faa.gov/nextgen/cip/catm/>
5. FAA, “UTM Concept Of Operations V2.0, FAA NextGen Office”, 2020, p.23.
6. EASA, “Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air(SERA)”, 2020. 10.
7. EASA, “UAS ATM Flight Rules-Discussion Document”, 2018.
8. Wallace, R. J., Haritos, T., and Robbins, J., “Building evidence the FAA’s UAS safety strategy needs improvement”, International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 2018.
9. National Geographic Information Institute, “National Geodetic Datum”, <http://map.ngii.go.kr>
10. Korea Institute of Nuclear Safety, “Regulatory Standards and Guidelines for Light-water Nuclear Power Plants”, KINS, 2015, pp.3-5.