

EVTOL 기체의 추락 지점 확률 분포 추정

남홍수*, 박배선, 이학태
인하대학교

Estimation of Crash Point Probability Distribution of an EVTOL

Hong-Su Nam *, Bae-Seon Park, Hak-Tae Lee

Key Words : Urban Air Mobility(UAM, 도심항공교통), Crash Probability Distribution(추락 확률 분포), Hazard(위험도)

서론

전 세계적으로 대도시의 인구는 꾸준히 증가하고 있다. 인구가 대도시로 밀집되면서 교통체증 문제는 날로 심해지고 있으며, 이를 해결하기 위한 방식으로 도심 항공 교통(Urban Air Mobility, UAM)이 주목을 받고 있다. UAM은 도심에서의 이동효율성을 극대화한 차세대 모빌리티이다. 현재 다양한 국내외 기관들이 관련 연구를 수행하고 있으며⁽¹⁾, Joby 등 일부 기업은 시제기를 개발하여 초도 비행을 성공한 바 있다.

일반적인 여객기와 다르게 UAM 기체는 주로 2,000ft 이하 저고도의 도시를 비행한다. 이때 어떠한 원인으로 인해 기체가 도심지에 추락할 경우 인명 피해 등 2차 피해가 발생할 우려가 있다.

UAM이 차세대 교통수단으로 자리 잡기 위해서는 안전성이 확립되어야 하며, 돌발 상황으로 인하여 기체가 추락할 경우 추락 및 충돌 지점을 예측하여 그 위험도를 분석하는 것이 필수적이다⁽²⁾.

본 논문에서는 UAM 추락 위험도를 분석하기 위해, 추진 시스템이 고장 난 기체의 조종면 각도에 따른 추락 지점을 추정하는 방법을 제시한다. 대상 기체는 고정익과 유사한 형태로 가정하였으며, 초기 조건에 따른 추락 지점의 분포와 확률을 계산하여 그 결과를 확인하였다.

본론

1. 대상 기체 선정

수직 이착륙(EVTOL) 기체는 UAM에서 고려되는 대표적인 형태로, 크게 틸트로터, 고정익·회전익 복합, 멀티로터 방식으로 나뉜다. 이 중 틸트로터와 고정익·회전익 복합 방식은 조종면에 의한 자세제어가 가능하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 다양한 후보 기체들 중 형상 및 성능이 비교적 많이 공개되어 있는 현대자동차의 'S-A1'을 대상 기체로 선정하였다. 'S-A1'은 틸트로터 방식의 기체로, 공개된 형상 및 성능은 Fig.1, Table 1과 같다.



Fig. 1. S-A1 Geometry

Table 1. S-A1 specifications

탑승자수	5명	항속거리	100km
이륙중량	3,125kg	순항속도	240km/h
전장	10.7m	최대속도	290km/h
윙 스패ن	15m	순항고도	300-600m

공개되지 않은 상세 성능은 역설계를 통해 추정했으며, 추정된 성능은 실제 값과 다를 수 있다. 대상기체의 관성모멘트는 Table 2와 같이 추정하였으며 단위는 $[kg \cdot m^2]$ 이다. 공력미계수는 MIT에서 개발된 공력 해석 프로그램인 AVL⁽³⁾을 이용하여 Table 3과 같은 값을 사용하였다. 미계수들의 단위는 기본적으로 무차원이며, 조종면에 관련된 미계수만 단위가 $[1/deg]$ 이다.

Table 2. Moment of inertia

I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}	$J_{zx}(J_{xz})$
31,935	20,518	50,200	2,393

Table 3. Body-axis derivatives

C_{Xu}	-0.0749	C_{Zu}	-1.2309	C_{mu}	0.0001
C_{Xw}	0.3874	C_{Zw}	-6.0143	C_{mw}	-0.9552
C_{Xq}	-0.4973	C_{Zq}	-10.8339	C_{mq}	-31.8115
$C_{X\delta_e}$	-0.0009	$C_{Z\delta_e}$	-0.0167	$C_{m\delta_e}$	-0.0575
C_{Yv}	-0.1570	C_{lv}	0.0007	C_{nv}	0.0407
C_{Yp}	0.1347	C_{lp}	-0.6131	C_{np}	-0.0319
C_{Yr}	0.0661	C_{lr}	0.1669	C_{nr}	-0.0349
$C_{Y\delta_a}$	0.0006	$C_{l\delta_a}$	-0.0036	$C_{n\delta_a}$	0.0002

2. 시뮬레이션

2.1. 초기 조건

본 논문에서는 고도 500m 상공에서 속도 240km/h로 순항하는 기체의 추진 시스템에 이상이 발생하여 추락하는 상황을 가정하였다. 추락 시 조종면인 에일러론(Aileron)과 엘리베이터(Elevator)는 특정한 각도로 고정되었다고 가정하였으며, 에일러론과 엘리베이터 모두 ±10도 범위에서 균일한 확률분포를 가진다고 가정하였다.

2.2. 결과

Fig.2는 시뮬레이션에서 수행된 대상기체의 모든 궤적들을 나타낸 것이다. 고정된 조종면 각도에 따른 모든 추락 지점의 분포는 Fig.3과 같으며, 기체 전방 400m 기준 사방 500m의 사각형을 형성하는 A 영역에 가장 많이 추락하는 것으로 보인다.

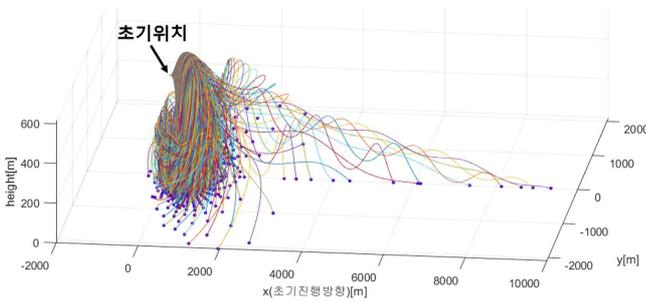


Fig. 2. Trajectories

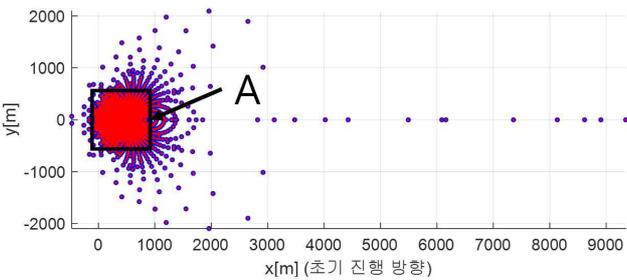


Fig. 3. Crash distribution

A 영역에 추락할 확률을 수치적으로 확인하기 위해 확률 분포 함수를 이용하였다. 각 격자마다 추락 지점 분포를 확인할 확률 분포 함수는 식 (1)과 같이 정의된다. 여기서 n 은 격자 내부 추락분포의 개수, N 은 전체 시뮬레이션 횟수이고 A_{grid} 는 격자의 면적이다.

$$p(x,y) = \frac{n}{N} \times \frac{1}{A_{grid}} \quad (\text{단위 : } 1/m^2) \quad (1)$$

식 (2)는 A 지역 전체의 추락 확률을 계산한 것으로, 총 95.8%의 확률로 기체가 A 지역에 추락할 수

있음을 알 수 있다. Fig. 4는 A 영역을 50m x 50m 크기의 격자로 나누어 기체의 추락 확률 분포를 나타낸 것이다.

$$\int_{-500}^{500} \int_{-100}^{900} p(x,y) dx dy = 0.958 \quad (2)$$

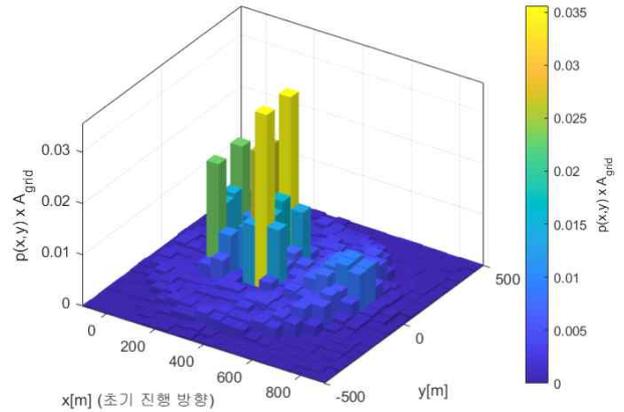


Fig. 4. Crash probability

결론

본 논문에서는 조종면 각도에 따른 UAM 기체의 추락분포를 산출하는 방법을 제시하고 그 결과를 도출하였다. 향후 다양한 방식의 UAM 기체에 대하여 결과를 분석하고, 나아가 비행경로 상의 인구밀도를 고려하여 추락 시 피해도 까지 고려할 계획이다.

후기

본 연구는 국토교통부의 ‘빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발 및 플랫폼 구축 (21BDAS-B158275-02)’ 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Lee, S., Drone & UAM Industry Trend, *AUTO JOURNAL : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 43, No. 7, 2021, pp. 38-42.
- 2) Lee, K., Lee, Y., Lee, J., Study on The Establishment of Emergency and Forced Landing Response Concepts for UAM-operation, *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2020, pp. 685-686.
- 3) Drela, M., Youngren, H., *AVL 3.30 User Primer*, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, 2010, pp. 1-39.