

소형무인항공기 투척이륙 기준설정 연구

정성록
국방기술품질원

A Study of Small UAV Throwing Take Off Standard Setting

Seong-Rok Jeong
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 무인항공기는 그 용도에 따라 다양한 형태와 크기를 가진다. 무인항공기 중 소형급 무인항공기는 크기가 작고 보관이 간단하고 무게가 가벼워 다양한 용도로 활용하고 있다. 소형급 무인항공기에서도 고정익 형태의 무인항공기는 활용도를 높이기 위해 사람이 주로 투척하여 이륙하는 방식을 사용한다. 투척 이륙방식은 좁은 공간에서도 비행체의 이륙이 가능한 장점이 있다. 하지만 일반적인 활주 이륙방식과 달리 사람의 힘으로 투척 이륙하는 방식은 불안정할 수밖에 없다. 실제로 본 연구대상의 비행체도 투척이륙 중 급격한 롤이 발생하여 지면 충돌, 순간적으로 피치가 들려 실속이 발생하여 지면 충돌하는 등 이륙 사고가 발생하였다. 이에 본 연구에서는 투척이륙의 사고를 예방하기 위해 비행체 투척 이륙 기준설정 연구를 수행하였다. 연구를 위해 먼저 비행체의 사양을 바탕으로 실속속도와 이륙속도를 분석하였다. 이를 기반으로 롤, 피치 각에 따른 이륙속도를 이론적으로 분석하여 투척이륙 범위를 설정하였다. 다음으로 이륙 성공 및 실패한 비행체에 기록되어 있는 비행데이터를 추출하여 비행체 투척상황에서의 비행체 자세, 속도를 분석하였다. 각각의 분석결과를 비교 분석하여 투척이륙 범위설정에 대한 타당성을 확인하였다. 이 연구결과를 기반으로 비행체 투척 이륙 자세에 대한 범위를 지정하여 적용하였으며, 투척 사고를 미리 방지할 수 있게 되었다.

Abstract Unmanned aerial vehicles have various shapes and sizes depending on their use. Small unmanned aerial vehicles are easy to store and lightweight, so they are used for various purposes. Even in small unmanned aerial vehicles, fixed-wing aerial vehicles used a throwing take-off method to increase their utility. The throwing take-off method allows an aircraft to take off even in a narrow space. However, this method is unstable. The aircraft under study has also experienced take-off accidents in various forms. Therefore, this study was conducted to set the standard for throwing take-off to prevent throwing take-off accidents. First, the stall and take-off speeds were analyzed based on the aircraft specifications. Based on this, the throwing take-off range was set by theoretically analyzing the take-off speed according to the roll and pitch angle. Next, the flight data recorded on the successful and unsuccessful take-offs were extracted and analyzed. The validity of the throwing take-off range setting was confirmed by a comparative analysis of each analysis result. Based on the results of this study, the range for the throwing take-off was designated and applied to the operation, and it was possible to prevent the throwing accident in advance.

Keywords : Small Unmanned Aerial Vehicle, Stall Speed, Take Off Standard, Roll, Pitch

*Corresponding Author : Seong-Rok Jeong(Defense Agency for Technology and Quality)

email: sungrok@dtaq.re.kr

Received August 5, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised September 7, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

무인항공기는 실제 조종사가 타지 않고 지상에서 원격으로 비행체를 제어하여 자동 또는 반자동으로 비행하는 비행체를 의미한다. 사람이 직접 타지 않는다는 장점으로 초기에는 군사 분야에서만 사용되었지만, 최근에는 사람이 관찰하기 어려운 지형의 모니터링을 위한 무인항공기[1,2], 원활한 통신 중계를 위한 무인항공기의 활용[3] 등 여러 분야에서 무인항공기를 활용하기 위한 연구를 수행하고 있다. 또한, 무인항공기의 용도나 임무에 따라 다양한 형태와 크기를 가지는데 이 중 고정익 소형 무인항공기는 2kg 이상 25kg 미만을 지칭하며 소형 무인항공기에도 쿼드콥터와 같은 회전익 형태의 무인항공기가 있으며, 일반적인 비행체 형상을 가진 고정익 형태의 무인항공기가 있다. 본 연구대상의 무인항공기는 고정익 소형 무인항공기이다. 고정익 소형 무인항공기(이하 소형 무인항공기)는 형태에 따라 무게가 가볍고 분해, 조립 및 이동을 할 수 있는 장점이 있어 다양한 용도로 활용하고 있다. 소형 무인항공기의 장점을 활용하여 고정익 형태의 무인항공기의 경우 사람의 힘으로 투척하여 이륙하는 방식을 적용한다. 본 연구 대상인 소형 무인항공기도 투척 이륙방식을 적용하였으며, 이러한 이륙방식은 제한된 공간에서 이륙할 수 있다는 장점이 있지만, 사람의 힘과 숙련도에 의존적인 인적요소를 고려하여 이륙하는 방식은 불안정할 수밖에 없는 단점이 있다. 실제 본 연구대상 비행체를 투척이륙을 시도하다 사고가 발생하였으며 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Take off failure status

UAV No	Phenomenon
1	Excessive roll during take off
2	Roll not restored during take off(Unstable)
3	Stall caused by low take off speed
4	nose lifted with rapid acceleration
5	Loss of control of the aircraft due to excessive pitch up

이에 본 연구에서는 소형 무인항공기의 투척 중 발생하는 이륙 성공, 실패 현상을 분석하기 위해 대상 실제 비행을 했던 소형 무인항공기에 기록된 비행데이터를 추출 및 분석하여 어떠한 상태에서 이륙에 성공 및 실패하는가를 분석하고자 한다. 이를 위해서 소형 무인항공기의 공력 특성을 활용하여 비행체의 이륙 속도를 분석하였으며, 비행체 자세에 따른 이륙 속도의 기준을 설정하

고자 한다. 설정된 기준을 기반으로 실제 이륙에 성공한 비행체의 데이터와 이륙에 실패한 비행체의 데이터를 추출 후 이륙 시점에서의 차이점을 비교 분석하여 이륙 속도 기준 분석 결과에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 타당성 검증 후 분석 결과를 바탕으로 투척 이륙방식의 소형 무인항공기 이륙 범위를 설정하여 안정적인 이륙에 활용하고자 한다.

2. 본론

본 연구 대상인 소형 무인항공기는 무게가 약 3.5kg 인 무인항공기이며 비행체는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Small UAV

소형 무인항공기의 제원은 Table 2와 같으며 투척 이륙 방식이다.

Table 2. Small UAV spec

Specification	Percentage
Leng × width × height	1.4 × 1.8 × 0.2 (m)
Weight	3.5 (kg)
Wing Area	0.455 (m ²)
Airfoil	SD7032
C_{Lmax}	1.432
Take off type	Hand Launch

2.1 투척이륙 비행데이터 분석

투척이륙 방식의 소형 무인항공기는 사람의 힘을 이용한 순간적인 가속도를 이용하여 이륙한다. 이러한 이륙 상황은 비행데이터에서도 확인할 수 있다. 비행데이터는 비행체를 제어하는 비행 조종 컴퓨터(Flight Control Computer, FCC)에 기록이 되며 형상은 Fig. 2와 같다.



Fig. 2. Flight control computer

비행 조종 컴퓨터는 비행체 내부에 탑재되어 있으며 0.02초 간격으로 비행체의 자세, 속도, 고도, 가속도, 위치 좌표 등 비행데이터가 기록된다. 비행체의 자세는 관성항법장치(Inertia navigation system)로 측정하며 비행체에 탑재된 GPS 값을 사용하여 실시간으로 보정한다. 비행데이터는 비행체의 전원이 인가되는 순간부터 자동으로 저장되며 비행체가 이륙하는 순간 기록된 실제 비행으로 비행 조종 컴퓨터에 기록된 비행데이터를 각 비행체로부터 추출하여 분석에 활용하였다. 정상이륙을 한 비행체에 대한 데이터 확보에는 어려움이 없었으나, 이륙에 실패한 비행체는 비행 조종 컴퓨터 파손 등으로 인해 데이터 확보에 제한적인 경우가 많았다. 이륙 실패 데이터는 데이터를 추출할 수 있었던 비행체 5대에 대한 데이터를 확보하여 연구를 수행하였다.

비행체는 heading(Heading) 방향으로 밀면서 비행체의 속도를 증가시키는데 이때 heading 방향인 X 방향으로의 가속도가 증가하는 것을 비행데이터(Fig. 3)에서 볼 수 있다. 비행체가 사람의 손을 떠나는 시점에서부터 X 방향의 가속도가 급격히 감소한 후 일정한 가속도를 가진다. 본 연구에서는 X 방향의 가속도가 일정한 가속도를 가지는 지점이 비행체가 사람 손에서 벗어나 이륙하는 시점으로 보고 이 시점에서 기록된 비행체의 속도와 자세로 이륙 상태를 분석하고자 한다.

이륙 성공한 비행체 20대의 데이터와 이륙 실패한 비행체 5대의 데이터를 추출하여 투척이륙 시 비행체 상태에 대한 분석을 수행하였다.

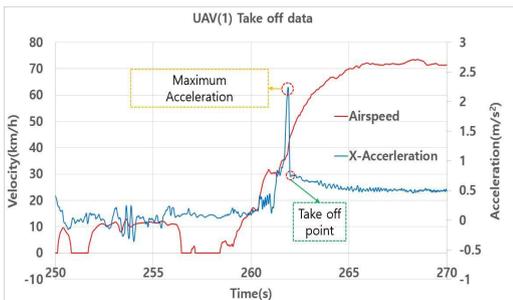


Fig. 3. Take off data

Table 3은 이륙에 성공한 비행체 20대와 실패한 비행체 5대에 대한 이륙 시점(Fig. 3 Take off point)에서의 비행데이터 속도와 자세 값(Roll, Pitch)을 정리한 것이다. Roll의 경우 시계 방향이 +, 반시계방향이 - 를 값을 가진다.

Table 3. UAV data at take off point

Take off success			
UAV	Roll(°)	Pitch(°)	Airspeed(km/h)
1	-3.86	13.36	44.79
2	-4.50	23.83	41.99
3	-3.66	21.97	42.75
4	3.05	30.40	42.17
5	-0.57	22.44	45.24
6	-5.63	26.87	41.92
7	-2.86	21.40	41.85
8	-2.27	22.42	42.27
9	5.17	18.97	41.82
10	-0.80	11.70	45.97
11	4.20	15.19	41.25
12	1.36	18.92	41.47
13	-1.67	18.37	40.99
14	5.76	19.16	41.10
15	3.76	12.21	41.05
16	2.42	21.32	41.94
17	5.44	24.99	41.56
18	-7.08	10.04	42.19
19	2.51	16.03	41.11
20	9.89	17.69	41.98
Take off failure			
21	-14.28	20.22	48.19
22	10.98	20.49	37.10
23	-3.667	36.23	29.25
24	3.13	10.14	37.57
25	9.53	32.72	34.16

2.2 이륙속도

이륙속도(V_t)는 실속속도(V_s)의 1.2배로 정의되며 실속속도와 이륙속도는 각각 Eq. 1, Eq. 2와 같다[4].

$$V_s = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{Lmax}}} \quad (1)$$

$$V_t = 1.2 V_s \quad (2)$$

여기서 W 는 비행체의 무게, ρ 는 공기밀도, S 는 날개 면적, C_{Lmax} 는 최대 양력계수를 각각 의미한다. 공기 밀도는 표준대기조건을 적용하여 대기압 101.35hpa, 대기 온도 15℃에서 $1.23kg/m^3$ 을 적용하였다.

또한, 선회 중 실속속도를 V_{ts} 라고 하였을 때 다음과 같은 Eq. 3을 얻을 수 있다[4].

$$V_{ts} = \frac{V_s}{\sqrt{\cos\theta}} \quad (3)$$

여기서 θ 는 롤(Roll) 값이다. Eq. 1~3을 적용하여 비행체가 이륙 시 롤을 고려한 안전 이륙속도는 계산할 수 있다. 비행체는 좌우대칭 형상으로 V_{ts} 는 롤의 부호(+,-)에 관계없이 동일하다.

본 연구대상 비행체의 실속속도는 표준대기조건 및 최대 양력계수, 롤이 0° 조건일 때 33.41 km/h를 가지며 이륙속도는 실속속도의 1.2배인 40.09 km/h로 분석된다. 롤 각도에 따른 이륙속도는 Table 4와 같이 정리하였다.

Table 4. Take off speed(Roll)

Roll(°)	Safe take off speed(km/h)
±0	40.09
±5	40.17
±10	40.40
±15	40.79
±20	41.36
±25	42.12
±30	43.08
±40	45.81
±50	50.01
±60	56.70
±75	78.91

또한, 비행체 피치(Pitch)각의 비행체 영향성을 파악하기 위해 분석을 수행하였다. 피치각에 따른 이륙속도는 날개의 양력계수(C_L)과 관계가 있다. Eq. 1에서 기존의 값들은 동일하며, 최대 양력계수만 각도에 따른 양력계수를 대입하여 이륙속도를 분석하였다. 양력계수는 SD7032 에어포일의 양력계수를 참고하였으며 계산 결과는 Table 5와 같다.

양력계수는 받음각이 커질수록 증가하지만, 일정 각도 이상 증가하게 되면 에어포일에서 실속이 발생하며 양력계수가 감소하게 된다. SD7032 에어포일의 경우 약 16°에서 최대 양력이 발생하며 기 이후에는 감소하는 특성을 가진다. Table 5에서도 이러한 특징을 볼 수 있으며 안전 이륙속도가 0°~16° 구간에서는 양력계수가 증가함

에 따라 이륙속도 기준이 낮아지지만 18° 이상 구간에서는 다시 이륙속도 기준이 증가하는 경향을 볼 수 있다.

Table 5. Take take off speed(Pitch)

Pitch(°)	Safe take off speed(km/h)
4	71.44
6	58.69
8	51.22
10	46.25
12	42.82
14	40.70
16	40.07
18	40.13
20	40.78
22	42.10

2.3 비행데이터 분석

2.2절에서 분석한 롤과 피치에 따른 이륙속도 범위를 활용하여 안전 이륙 범위를 분석하였다. 적절한 범위를 분석하기 위해 롤의 경우 ±25° 범위까지를 반영하였으며 피치는 22°까지 모두 반영하여 범위를 분석하였다. 롤에 따라 이륙속도를 분석한 결과의 그래프는 Fig. 4와 같다.

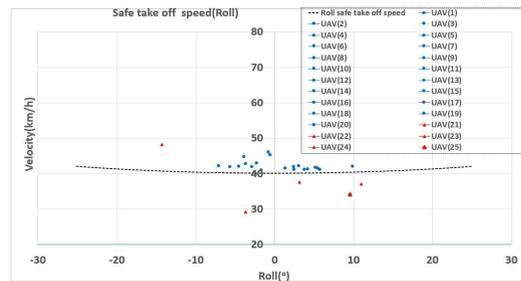


Fig. 4. UAV take off speed data(Roll)

Fig. 4의 점선은 Table 4의 이륙속도이며 파란색 점은 이륙 성공 비행체, 붉은색 세모는 이륙 실패 비행체이다. 이륙에 성공한 비행체는 이륙속도 기준을 모두 충족함을 보였으며, 이륙 실패 비행체 중 1대는 이륙속도 기준(Fig. 4 검은색 점선)을 충족하였지만, 이륙 실패한 것을 볼 수 있다.

다음은 피치에 따라 이륙속도를 분석한 결과의 그래프이며 Fig. 5와 같다. SD7032의 각도에 따른 양력계수는 약 18°까지 얻을 수 있다. 비행체 수평비행에서 입사각(Angle of attack)은 약 4°로 설계되어 있다. 그러므로 비행체 피치각 기준 22°까지의 이륙속도를 분석하였으

며 Fig. 5의 파란색 점은 이륙 성공 비행체, 붉은색 세모는 이륙 실패 비행체이다. 이륙 성공 비행체에 대해 이륙 속도 기준(Fig. 5 검은색 점선)에 포함되는 비행체는 14대이며 나머지 6대의 경우 기준에 포함되지 않는 것으로 분석되었다. 이륙 실패 비행체도 이륙속도 범위 내 만족하지 않는 것으로 분석된다.

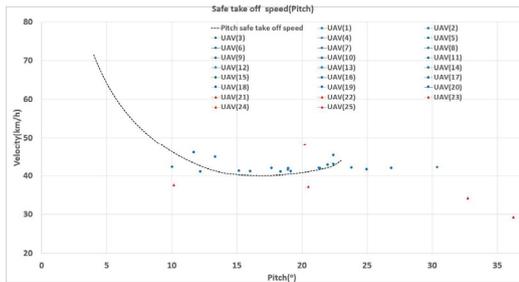


Fig. 5. UAV take off speed data(Pitch)

분석결과 이륙에 성공한 대부분 비행체는 롤이 $\pm 5^\circ$ 이내와 속도는 40.09km/h 이상을 만족하는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 Fig. 4의 이륙속도 기준선에서도 볼 수 있는데 이륙 성공 비행데이터는 모두 기준선에 만족하는 것을 볼 수 있으며 이륙 실패 데이터는 기준선을 만족하지 못한다. 하지만, 피치각을 고려한 이륙속도 기준선을 비교 분석한 결과에서는 기준선 범위 내에서 대부분 이륙을 하였지만, 일부는 기준선 밖에서도 이륙에 성공하였다. 이 결과로 보았을 때 투척 방식의 소형 무인기는 이륙속도 이상으로 투척할 경우 과도한 롤을 주지 않는 한 피치각은 상대적으로 이륙에 영향이 적은 것으로 분석된다. 하지만, 피치각이 $4^\circ \sim 10^\circ$ 구간에서 요구되는 비행체의 이륙속도는 최대 양력일 때의 이륙속도보다 1.2~1.8배 높은 속도로 투척을 해야 한다. 이를 위해서는 사람의 힘으로 과도한 힘을 가해야 하므로 위험이 발생할 수 있다.

소형 무인항공기는 낮은 레이놀즈 영역($Re \approx 200,000$)에서 비행을 한다. 이 영역에서의 공기역학적 특성은 기존의 일반적인 비행체의 영역과 매우 다른 모습을 보인다 [5,6]. 높은 점성으로 인한 양항비 감소, 불안정한 유동에 따른 실속각 증가 등이 특징이다. 그러므로 속도가 매우 낮은 이륙 구간에서 순간적인 가속을 위해 힘을 가한다면 과도한 항력 발생, 불안정한 유동 및 비행체 자세가 흐트러질 수 있어 UAV(11)와 같이 이륙속도를 충족하여도 이륙에 실패할 수 있다.

2.4 투척이륙 범위설정 및 검증

2.2절의 이론적 분석을 통해 설정한 피치, 롤에 따른 이륙속도 범위와 2.3절의 실제 비행으로 기록된 비행데이터를 통해 안전한 투척이륙을 위한 범위를 설정하였다. 이론적 분석값과 실제 비행데이터의 값을 비교 분석한 결과에 따르면 비행체가 가장 안정적으로 이륙을 하기 위해서는 이륙 요구속도가 낮은 구간($\approx 40\text{km/h}$)인 롤 $\pm 5^\circ$ 이내, 피치 $14^\circ \sim 20^\circ$ 에서 이륙하는 것이 가장 안전한 범위(Safe zone)라고 볼 수 있다. 또한, 비행데이터 분석을 기반으로 롤 $\pm 10^\circ$ 수준을 만족할 경우 이륙속도를 충족한다면 피치각은 $5^\circ \sim 30^\circ$ 수준에서도 이륙은 가능(Unstable zone)할 것으로 예측된다. 단, 과도한 피치와 가속은 비행체의 실속을 유발할 수 있으므로 주의가 필요하다. 이륙속도 이하로 투척할 경우 비행체는 대부분 이륙 실패(Danger zone)가 발생하므로 이륙속도 이상으로 투척하는 것이 가장 중요한 요소로 분석된다. 나머지 구간(Cautionary zone)의 경우 이론상 이륙이 가능할 것으로 판단되지만 과도한 롤과 가속은 UAV(11) 비행체와 같이 예측할 수 없는 이륙 실패가 발생할 가능성이 있는 구간으로 더욱 주의가 필요한 구간이다. 위의 결과는 Fig. 6 및 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Take off Range

Element	Roll	Pitch	Speed
Safe zone	$-5^\circ \sim +5^\circ$	$14^\circ \sim 20^\circ$	$\geq 40.09\text{km/h}$
Unstable zone	$-10^\circ \sim +10^\circ$	$9^\circ \sim 30^\circ$	$\geq 40.09\text{km/h}$
Danger zone	-	-	$\leq 40.09\text{km/h}$

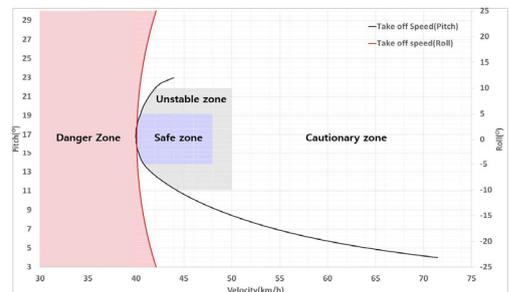


Fig. 6. Take off range

투척이륙 범위를 설정 후, 실제 비행한 비행체의 투척 상황에서의 비행데이터를 수집하여 확인하였다. 그 결과

투척 실패사례는 발생하지 않았으며 비행데이터 확인결과 Table 7과 같다. Table 7의 롤 평균값은 비행체는 좌우대칭 형상이므로 (-)값을 모두 (+)값으로 변환하여 분석하였다. 비행데이터 중 20개의 결과만 표본을 선정해 결과를 작성하였으며, 본 연구의 이륙 안의 범위에서 이륙할 경우 비행체의 이륙 실패상황은 발생하지 않는 것을 볼 수 있다.

Table 7. UAV take off data

UAV	Roll(°)	Pitch(°)	Airspeed(km/h)
1	-4.65	25.33	41.40
2	-3.67	21.97	42.75
3	3.41	28.17	43.49
4	1.46	20.42	48.85
5	0.04	21.05	48.05
6	-9.02	19.41	44.35
7	-0.36	15.18	43.92
8	-2.82	15.57	43.71
9	-1.56	26.48	46.71
10	-1.56	15.03	46.80
11	-3.40	17.15	44.05
12	-6.30	17.45	46.04
13	-0.42	10.79	45.60
14	1.28	14.61	45.63
15	-2.63	18.96	46.45
16	-4.12	24.69	46.37
17	-3.86	13.36	44.79
18	5.17	18.97	41.82
19	4.78	22.87	42.11
20	8.12	19.99	44.71
Avg	3.43	19.37	44.88

3. 결론

본 연구에서는 투척 방식의 소형 무인항공기의 이륙 성공, 실패 현상을 분석 및 이륙을 위한 비행체의 이륙 기준설정을 위한 연구를 수행하였다. 연구대상 비행체는 사람의 힘으로 투척 이륙하는 방식으로 일반적인 비행체보다 불안정하다. 실제 비행체 이륙 순간 다양한 원인으로 인해 비행체가 이륙에 실패하는 현상이 발생하였고, 이를 예방하기 위해 연구를 수행하였다.

연구를 수행하기 위해 먼저 비행체 투척 시점에 대한 기준을 설정하여 설정한 기준을 바탕으로 실제 비행체의 데이터를 분석하였다. 총 25대의 실제 비행이륙 데이터를 비행체로부터 확보하였으며 이 중 5대는 실제 이륙에 실패한 비행체에서 데이터를 확보하였다. 이후 비행체 특성을 고려한 비행체 이륙속도를 롤, 피치각을 고려하여 기준선을 설정하여 추출한 비행데이터와 비교 분석하

였다. 비행체 자세 중 롤과 피치를 고려한 이륙속도 기준 설정 및 비행데이터와의 비교 분석결과 대부분 설정한 기준선에 만족하는 것으로 확인되어 분석의 타당성을 확인하였다. 분석결과 본 연구대상의 비행체가 안전한 이륙을 위한 비행체 자세는 롤 $\pm 5^\circ$ 이내, 피치 $14^\circ \sim 20^\circ$ 이내, 이륙속도 40.09km/h 이상일 때 가장 이상적인 이륙이 가능할 것으로 분석하였다. 비행체 자세가 더 넓은 범위의 롤 $\pm 10^\circ$ 이내, 피치 $9^\circ \sim 30^\circ$ 이내에서도 이륙이 가능할 것으로 예측되지만 비행체가 낮은 레이놀즈 영역에서 비행하므로 실속이 발생할 가능성이 있으므로 주의가 필요하다. 또한, 비행체가 분석한 이륙속도 기준으로 투척이 되면 대부분 실속이 발생하여 이륙에 실패한 것을 볼 수 있어 투척 시 적절한 가속이 가장 중요한 요소임을 확인하였다.

본 연구결과에 타당성을 확인하기 위해 투척이륙 범위를 지정하였으며, 이후 비행체의 운용 간 투척이륙에서 유사사례가 현저히 줄어들어 연구의 타당성을 검증하였다. 또한, 선행연구[7]에서도 전산 유체역학을 활용하여 실속영역을 분석한 연구에서도 이륙속도 및 롤에 의한 안정적 이륙 범위를 제시함으로써 본 연구와 유사한 결론에 도달한 것을 볼 수 있다.

하지만, 투척 이륙 방법은 인적요소에 의한 이륙 실패 뿐만 아니라 환경적, 물리적 요소로 인해 비행체의 이륙에 영향을 주는 상황이 많을 것으로 예상된다. 또한, 현재의 데이터의 수량이 부족하여 명확히 분석하기에는 어려움이 있다. 실제 비행체의 이륙 실패상황이 발생하여야 이륙 실패 데이터를 획득할 수 있으므로 데이터 획득에도 제한이 있다. 그러므로 향후 지속적인 연구를 위해 이륙 실패가 발생할 시 데이터를 충분히 획득하고 분석하여 더 다양한 요소에 대한 투척이륙의 영향성을 분석하고 적용하여 비행체의 손실을 예방할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

References

- [1] J. S. Kim, "Assessing the applicability of UAV for Sea Cliff Erosion-rate Monitoring", *The Association Of Korean Photo-Geographers*, vol.27, No.2, pp.1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.35149/jakpg.2017.27.2.001>
- [2] J. H. Jeong, S. K. Kim, H. D. Oh, J. Y. Suk, "Optimal Positioning of Small UAVs for Communication Relay", *The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, Vol.42, No.6, pp.461-467, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.6.461>

- [3] K. H. Choi, J. H. Lee, I. P. Lee, "Development of a Close-range Real-time Aerial Monitoring System based on a Low Altitude Unmanned Air Vehicle", *Korea Spatial Information Society (KSIS)*, Vol.19, No.4, pp.21-31, 2011.
UCI: G704-000574.2011.19.4.006
- [4] S. J. Yoon, *Aerodynamics*, p.380, Book media group, 2016, pp. 187, 196, 224.
- [5] N. H. Roh, C. K. Son and K. J. Yee, "Numerical Investigation on Aerodynamic Characteristics of Kline-Fogleman Airfoil at Low Reynolds Numbers", *The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, Vol.42, No.2, pp. 99-107, 2014.
UCI: G704-000344.2014.42.2.001
- [6] S. H. Yun and C. H. Han, "Aerodynamic Design and Performance Analysis of a Propeller at Low Reynolds Number Flow Conditions", *The Society for Aerospace System Engineering*, Vol.9, No.1, pp. 7-11, 2015.
UCI: G704-SER000010502.2015.9.1.002
- [7] S. M. . Woo, D. H. kim, Y. R. kim, "Investigation of stall prevention condition for a hand-launched UAV using computational fluid dynamics", *Korea soceity of computatuonal fluids enginerring*, Vol.26, No. 2, pp. 84-93, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.6112/ksce.2021.26.2.084>

정 성 록(Seong-Rok Jeong)

[정회원]



- 2014년 8월 : 부산대학교 항공우주공학과 (항공우주공 석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

항공우주, 재료