

# 험지 착륙시 드론의 수평 유지를 위한 Landing Platform System

\*천동훈, \*최지욱, \*\*이장명

\*부산대학교 전기전자공학과, \*\*부산대학교 전자공학과

e-mail : [donghun7379@pusan.ac.kr](mailto:donghun7379@pusan.ac.kr), [jiwook7379@pusan.ac.kr](mailto:jiwook7379@pusan.ac.kr), [jmlee@pusan.ac.kr](mailto:jmlee@pusan.ac.kr)

Landing Platform system for leveling drones when landing  
on rough terrain

\*Dong-Hun Cheon, \*Ji-Wook Choi, \*\*Jang-Myung Lee

\*Electrical Engineering Pusan National University,

\*\*Electric Engineering Pusan National University

## Abstract

In this paper we propose a landing system in which drones can make stable landings even in rough terrain. In order to utilize drones in various environments, it is necessary to develop a landing platform that can be landed in rough terrain. To this end, the 4-Leg landing platform was analyzed kinematically and produced through 3D modeling. The landing platform estimates the angle of slope through the IMU sensor upon landing, and maintains equilibrium by controlling the angular value of each leg point by substituting the formula proposed in this paper. We presented a rough environment and tested the proposed landing platform to verify its effectiveness.

## I. 서론

최근 Drone 시장이 성장하면서 활용범위도 넓어지고 있다. 농업 현장의 부족한 노동력을 해소하는 용도로 사용하거나, 건설현장에서 공중 측량 및 현장 모니터링을 수행한다. 더 나아가 물류 서비스에서 물건을

배송하거나 군사 작전 등에서 사람이 직접 가기 힘든 장소에 Drone을 활용하는 등 여러 산업에 사용되고 있다.[1]

Drone과 같이 회전익 비행체는 특성상 수직 이착륙이 자유롭지만, 지면 상태에 많은 영향을 받는다. 이를 위해서 본 논문에서는 이착륙시 지면 상태에 영향을 받지 않도록 기존의 Drone landing gear와 다른 형태의 2-Link 구조의 4-Leg Landing Platform을 제안한다. 2장은 Landing Platform의 설계와 기구학 및 역기구학에 대하여 다루고, 3장은 Landing Platform 실험을 통해 제안한 수식과 수평유지를 입증한다. 이에 대하여 4장을 끝으로 결론을 맺는다.

## II. 본론

### 2.1 Landing Platform Modeling

다양한 환경의 험지에서 Drone이 착륙하기 위해서는 착륙지점의 상황에 맞게 대처할 수 있어야 한다. 기존에 사용되는 Drone landing gear는 한계가 존재하기 때문에 2-Link 구조의 Landing Leg를 CATIA 3D를 이용해 아래 그림 1과 같이 Modeling한다.

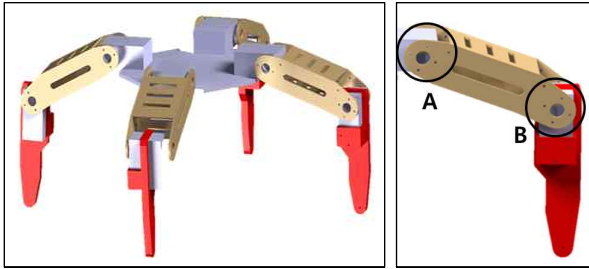


그림 1. Landing Leg Modeling

그림 1에서  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 에 해당하는 A, B에는 Drone의 하중을 견딜 수 있는 고토크 서보모터를 사용하고,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  각도 제어를 통해 험지에서도 수평을 유지한다. 3D Modeling을 바탕으로 3D Print를 활용해 그림 2와 같이 제작하였다.

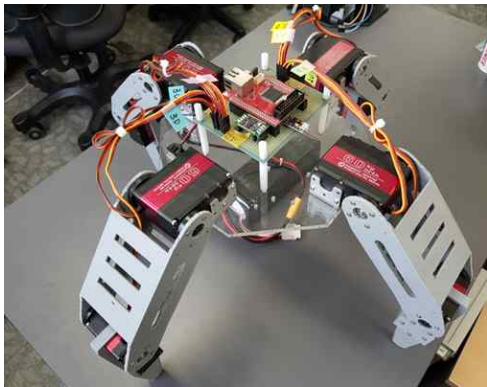


그림 2. Landing Platform 제작

## 2.2 Kinematics

2-Link 구조의 Landing Leg 기구학 해석을 위해 그림 3와 같이 나타내었다.[2]

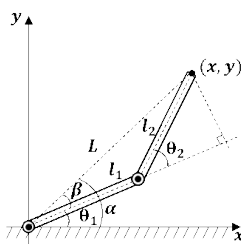


그림 3. 2 DOF Landing leg

Forward Kinematics는 아래와 같다.

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

Landing Leg End-effector의  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 을 유도하기 위해 inverse kinematics가 요구된다. 식 (1), (2)를 제곱한 후 정리하면

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (3)$$

이 되고, 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_2 = \pm \operatorname{atan2}(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \quad (4)$$

Leg의 동작반경을 고려해  $-\theta_2$  값을 사용한다.

$\theta_1$ 을 구하기 위해  $\alpha, \beta$ 는

$$\alpha = \operatorname{atan2}(y, x) \quad (5)$$

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1 + l_2 \cos \theta_2}\right) \quad (6)$$

가 되고,  $\theta_1$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \operatorname{atan2}(y, x) - \operatorname{atan}\left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1 + l_2 \cos \theta_2}\right) \quad (7)$$

## 2.3 기울기 보정 수식

Drone이 험지에 착륙할 때 지면의 상황에 따라 Drone은 기울어지게 된다. 안정적인 착륙을 위해서는 기울어지는 각도만큼 Landing Leg의 제어를 통해 Landing Platform과 연결된 Drone의 수평을 유지할 필요가 있다. 이를 위해 IMU 센서를 통한 현재의 기울기를 바탕으로 Landing Leg의 각도를 조절해 수평을 만든다.[3]

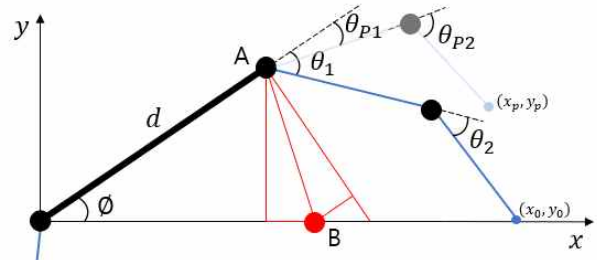


그림 4.  $\theta_{P1}$ ,  $\theta_{P2}$  유도를 위한 좌표계

평형을 만들기 위해 그림 4의  $\phi$ 만큼 기울어진 Body의 끝점 A를 B까지 이동해야 한다. platform의 길이가 d일 때  $x, y$ 축 이동거리는 아래와 같다.

$$x_{\phi} = 2d \sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (8)$$

$$y_{\phi} = d \sin \phi \quad (9)$$

landing leg의 end-effector의 위치를 식 (8), (9)의  $x, y$  만큼 이동시킨 좌표를 구하면 다음과 같다.

$$x_p = x_0 - x_{\phi} \quad (10)$$

$$y_p = y_0 + y_{\phi} \quad (11)$$

Leg의 End-effector를  $x_p, y_p$ 에 위치시키기 위한  $\theta_{P1}, \theta_{P2}$ 는 역기구학 식 (4), (7)을 이용해 계산할 수 있다.

### III. 실험

2장에서 유도한 수식을 제작한 Landing Platform에 적용 및 실험을 진행하였다. 제어를 위해 STM32F4 MCU를 사용했고, 그림 5와 같이 기울어진 상황을 제시하였다.



그림 5. Landing Platform 기울기 제시

그림 5에서 Roll은 약  $-10.5^\circ$ , Pitch는 약  $9.8^\circ$ 로 주어졌고, MCU에 신호를 전달했을 때 수평이 될 때까지 100ms의 제어주기로 동작한다.

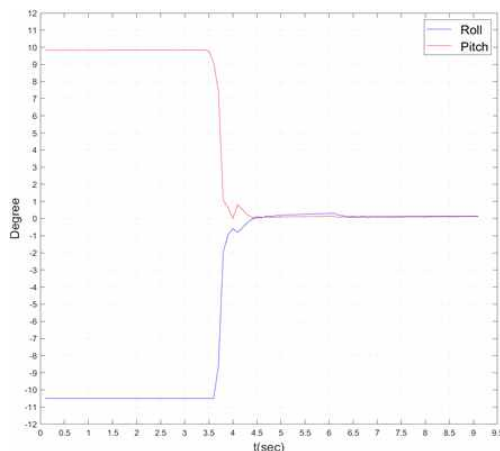


그림 6. Landing Platform Test 결과

제시된 상황에서 힘지와 접촉하고 있는 Landing Leg의 End-effector 좌표를 계산하고, 수식을 통해 Leg의 각도를 제어하였다. 그 결과 Roll, Pitch 각각  $0.12^\circ$ ,  $0.14^\circ$ 로 수평에 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

### IV. 결론

본 논문에서는 Drone이 험난한 지형에 착륙할 때 안정적으로 착륙할 수 있도록 수평을 유지할 수 있는 Landing Platform을 설계하고 제안하였다. IMU센서를 통해 힘지 착륙시 Drone이 기울어지는 것을 감지하고,

이에 따라 Landing Leg의 End-effector를 이동시키기 위한  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 를 계산하였다. 계산된  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 을 각 Leg에 적용시켜 Drone이 수평이 되도록 하였다. 제안한 수식을 이용하여 제작한 Landing Platform에 적용하여 실험을 진행하였고, 기울어진 상황에서 수평에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 다양한 힘지 환경에서도 수평을 유지할 수 있도록 테스트를 진행하고, 피드백 제어를 통해 동작의 정확성을 높일 수 있도록 연구를 진행할 것이다.

### Acknowledgments

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1A2C2088859)

### 참고문헌

- [1] 조현지 and 김지영, "산업용 드론 시장 분석 및 전망," *전력전자학회지*, vol. 25, no. 1, pp. 45-48, 2020.
- [2] S. Muslimin and D. Istandi, "Inverse Kinematics Analysis for Motion Prediction of a Hexapod Robot," in *2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE)*, 2018: IEEE, pp. 1-5.
- [3] 정학상, 최윤희, and 박진배, "자이로 센서를 이용한 4 족 보행 로봇의 자세 제어," *대한전기학회 학술대회 논문집*, pp. 1836-1837, 2010.