

미세먼지 억제를 위한 물 분사 시스템 개발과 드론 활성화 방안 연구

최영민*, 함영복*, 모지즈 압바스**, 김홍욱*, 윤소남*, 박중호*, 한재구***, 김영현***

*한국기계연구원 열시스템연구실

**과학기술연합대학원대학교 플랜트기계공학

***한국건설기술연구원 건설산업고도화센터

e-mail:hyb665@kimm.re.kr

A Study on Development of Water Spraying System for Suppressing Fine Dust and Activation Plan of the Drone

Young-Min Choi*, Young-Bog Ham*, Mojiz Abbas Trimzi**, Hong-Uk kim*, So-Nam
Yun*, Jung-Ho Park*, Jae-Goo Han*** and Young-Hyun Kim***

*Dept. of Thermal Systems, Korea Institute of Machinery and Materials

**Dept. of Plant System and Machinery, Korea University of Science and Technology

***Construction Industry Innovation Center, Korea Institute of Civil Engineering and
Building Technology

요 약

미세먼지 억제를 위한 water spraying system을 드론에 탑재하고, 펌프의 가동을 위한 예비 실험을 수행하여 분사 성능 및 전력 소비 측면에서 임무 수행시간을 검토한다. 드론 기반의 고압 급수 시스템을 위하여 액시얼 피스톤 펌프 및 BLDC 모터를 탑재하여 기본적인 수학적 모델이 제시되었다. Water fog를 발생하기 위하여 추가된 장비는 총 0.31 kW의 전력을 소모하며, 12S 22.2V 30,000 mAh 배터리의 총 에너지양에서 24%에 해당한다. 결과적으로 최대 부하 시 드론 운용시간은 76%로 줄어든다. 시뮬레이션 모델을 통하여 10 l 액체를 10 MPa 압력으로 분사하기 위하여 검토하였으며, 약 2,500 RPM에서 12 MPa의 토출 압력을 달성하였다.

1. 서론

초기 군사용으로 개발된 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV)는 드론(drone)이라는 용어로 사용되며 큰 관심을 불러일으켰다. 현재 드론은 개인이 수월하게 운용할 수 있는 수직이착륙형 멀티콥터(multi-copter)의 형상으로 우리의 일상생활에서 다양한 응용분야를 가지고 있다. 드론 산업은 미래 신산업의 발전을 이끌 수 있는 첨단 기술들을 다양한 방식으로 융합하여 새로운 부가 가치를 창출할 수 있는 산업으로 드론의 유형에 따라 미래에는 200개 이상의 활용분야를 가질 것으로 전망한다[1-3]. 드론 기술의 발전으로 배송, 유인드론, 농·수산업에서 사용되는 방제용 드론, 접근성이 떨어지는 인프라 관리를 위한 전력선, 교량 관리 드론 등 사업용 드론과 촬영, 레이싱 드론 등 레저스포츠를 위한 개인용 드론이 개발되었다. 이러한 드론의 적용은 COVID-19가 전국적으로 확산되는 시점에서 공익을 위한 방역용 드론 개발로 이어졌다[4-6]. 본 연구에서는 건설 현장과 황사 등 미세먼지 억제를 위한 water fog 발생에 적용

할 수 있도록 고압 급수 시스템을 갖추는 아이디어를 고안하였다. 고압용 소형 피스톤 펌프를 드론에 탑재하고, 펌프의 가동을 위한 예비 실험을 수행하여 결과적으로 전력 소비 측면에서 임무 수행시간을 검토하였다. 그리고 미세먼지 억제를 위한 드론 적용에 있어서 더 나은 메커니즘을 선택하는데 도움이 되며, 설계에서 최종 시작품에 이르는 개발 절차에 대해 논의한다.

2. Water spraying system

그림 1과 같이, 기체무게 9.8 kg, 최대 이륙 중량 24.9 kg, 워터 탱크 용량 10 L인 방제용 드론(E610S, EFT)이 사용되었다. 탑재된 드론 모터는 최대 토출 압력이 0.5 MPa로써 본 연구에 적합하지 않으며, 최대 토출 압력 10 MPa까지 가압이 가능한 소형 펌프가 고려된다. 드론 펌프는 액시얼 피스톤 펌프(P1, JANUS)가 사용되었으며, 펌프 구동용 모터는 24V BLDC 모터(U8 II, T-MOTOR)가 사용되었다. 펌프의 출구는 1/4인치 파이프에 이어지며, 6개소의 노즐과 연결된다. 각

노즐은 펌프 가동 시, water fog를 발생하기 위하여 직경 200 μm 으로 제작되었다. 각 노즐 분사량은 약 0.15 $\ell/\text{분}$ 이며, 5,000 mm 분사폭을 유지하도록 고압 펌프 최대 공급유량을 1.0 $\ell/\text{분}$ 으로 제어하였다.



[그림 1] Drone-based water fog spraying system

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전력 소비량

E610S 모델 사양에 따르면, 부하시 최대 운용시간은 60분이다. 하지만 water spraying system을 구성하기 위하여 약 3.9 kg의 추가 중량이 발생하였으며, 또한 워터 탱크 및 두 개의 드론 배터리(12S 22.2V 30,000 mAh, Li-polymer) 중량을 고려하면 드론 최대 운용시간이 줄어들 것으로 판단하였다.

그리고 펌프의 전력소비량은 다음 식 (1)을 통하여 산출하였다.

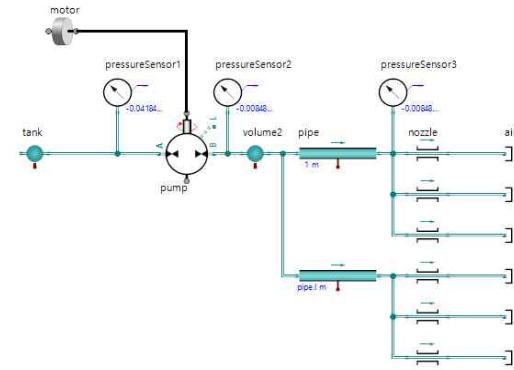
$$Power\ Consumption_{pump} = \frac{Q \times P}{0.612} \quad (1)$$

여기서, Q는 펌프 유량, P는 최대 압력이다. 즉, 10 MPa 압력으로 1.0 $\ell/\text{분}$ 유량을 갖는 펌프의 전력소비량은 0.16 kW로 나타났다. BLDC 모터는 1.0 $\ell/\text{분}$ 유량을 확보하기 위하여 배제용적 1.2 ml의 액시얼 피스톤 펌프를 약 1,000 RPM으로 구동해야하며, 이때, 약 0.15 kW 전력이 소모된다. 따라서 water spraying system에서 총 0.31 kW 전력량이 추가적으로 소모되며, 본 연구에서 사용된 배터리 2개의 총 에너지 저장용량 1.33 kW/h 중 24%를 차지한다.

3.2 시뮬레이션 모델

그림 2에서 다중 노즐을 연결한 water fog 시스템을 시뮬레이션X 4.0을 이용하여 최대 유량 및 최대 압력을 검토하였다. 모터 회전속도 1,000 RPM에서 최대 약 2 MPa 토출 압력이 발생하였으며, 이후, 2000 RPM 및 2500 RPM에서 각각 8 MPa, 12 MPa의 최대 토출압력을 확인하였다. 이때, 노즐 하나

당 유량은 0.16 $\ell/\text{분}$ 로써 총 0.96 $\ell/\text{분}$ 유량이 발생하였다.



[그림 2] Water fog spraying system using multi-nozzle by SimulationX

[표 1] Simulation parameters for spraying system

Parameter	Value	Unit
Tank volume	10	ℓ
Displacement volume	1.2	ml
Pipe diameter	25.4	mm
Nozzle diameter	0.2	mm

4. 결론

드론 기반의 고압 급수 시스템을 위하여 액시얼 피스톤 펌프 및 BLDC 모터를 탑재하여 기본적인 수학적 모델이 제시되었다. Water fog를 발생하기 위하여 추가된 장비는 총 0.31 kW의 전력을 소모하며, 본 연구에서 사용된 배터리의 총 에너지양에서 24%에 해당한다. 따라서 부하시 드론 운용시간은 76%로 줄어든다. 시뮬레이션 모델을 통하여 10 ℓ 액체를 10 MPa 압력으로 분사하기 위하여 검토하였다. 약 2,500 RPM에서 12 MPa의 토출 압력을 달성하였다. 차후, 드론 비행 및 노즐 분무 등 이론적 결과의 실험적 검증을 위해 추진될 예정이다.

참고문헌

- [1] 고흥일, 박지원, 윤광준, 김민환. “도하작전을 위한 틸트형 소형 드론 개발”, 한국환경기술학회지 제 22권 2호, pp. 173-181, 2021년.
- [2] G. Yun, M. Mazur, and Y. Pederi, “Role of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Farming”, Proceedings of the National Aviation University, Vol. N1(70), pp. 106-12, 2017.
- [3] R. Clarke, “Understanding the drone epidemic”, Computer Law & Security Review, Vol. 30, pp. 230-246, 2014.
- [4] M. Hasanalian and A. Abdelkefi, “Classifications,

- applications, and design challenges of drones: A review”, Progress in Aerospace Sciences, Vol. 91, pp. 99 - 131, 2017.
- [5] D. Floreano and R. J. Wod, “Science, technology and the future of smal autonomous drones”, Nat. Rev., Vol. 521, pp. 460 - 466, 2015.
- [6] H. G. Jorge, L. M. González de Santos, N. F. Álvarez, J. M. Sánchez and F. N. Medina, “Operational Study of Drone Spraying Application for the Disinfection of Surfaces against the COVID-19 Pandemic”, Drones, Vol. 5, No. 18, pp. 1-8, 2021.