

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.2.575>

JCCT 2023-3-71

농업용 방제 드론을 이용한 균일 방제에 관한 실험적 검증

Study on Experimental Verification of Uniform Control using Agricultural Drone

이우람*, 이상범**, 임진택***

Wooram Lee*, Sang-Beom Lee**, Jin-Teak Lim***

요약 본 논문에서는 농업용 방제 드론을 이용하여, 균일 방제를 통해 병해충에 농작물을 방지하고자 한다. 방제가 수행되는 비행 고도는 4 m 로 고정하고, 비행 속도 4-5 m/sec. 범위에서 실험을 수행하였다. 방제사의 조종 습관 및 방법, 바람의 영향과 같이 환경적 요인이 작용하여 정량화된 방제 작업이 어렵다. 실험은 10 m 농지에서 감수지를 한 열에 1.25 m 간격으로 7 장씩 5 열을 10 m 간격으로 배치하고, 제안된 항공 살포 시스템을 적용하여 살포 실험을 수행하였다. 분사 노즐 중심으로 좌우측 약 3.75 m 지점에서부터 분사된 입자가 감소하기 시작하였다. 입자의 개수에 따라 유효 살포 폭은 약 7.5 m 영역으로 관찰되었으며, 제안된 살포 시스템이 균일 방제에 효과가 있음을 실험적으로 검증하였다.

주요어 : 방제 드론, 균일 방제, 방제사, 분사 노즐, 살포 시스템

Abstract This study was prevent the decrease in crop output by insect pests and spraying by application uniformity. A flight level 4 m height and 4-5 m/sec. speed are difficult to maintain with a agricultural drone for aerial application, which has been affected by the methods or environmental factors, such as changes in the wind. Therefore, which can allow a controlled application width and spray rate automatically and verified experimentally using drone. The sprayed particles began to decrease from about 3.75 m on the left and right sides of the spray nozzle. According to the number of particles, the effective spraying width was observed to be about 7.5 m, and it was verified that the proposed spraying system was effective in uniform control system.

Key words : Agricultural drone, Application uniformity, Crop dusting drone, Spray nozzle, Uniform control system

1. 서론

현재 정부가 혁신 성장을 부각하며 이를 대처하는 방안으로 4차 산업혁명에 기반을 둔 8대 선도사업으로 농업 부분의 스마트팜 사업을 포함하여 드론, 자동차, 에너지 신산업, 바이오 헬스, 스마트 공장, 스마트

시티 및 핀테크 등을 지정하였다[1]. 농림축산 식품부에서 발표한 스마트팜 혁신 벨리 구축 계획에 따라 스마트팜 사업은 농촌 인구 감소, 고령화에 따른 인력 부족 및 기후 변화로 인한 작물 심기 차례의 변화와 병행증 증가 등으로 많은 어려움을 겪고 있다[2-3]. 덧붙여, 국내 농업의 생산 방식에 4차 산업혁명의 기반이 될 수

*정회원, 경운대학교 무인기공학과 조교수 (제1저자)

**정회원, 대우해양조선 책임연구원 (참여저자)

***정회원, 전주비전대학교 전기공학과 조교수 (교신저자)

접수일: 2023년 2월 15일, 수정완료일: 2023년 3월 4일

게재확정일: 2023년 3월 10일

Received: February 15, 2023 / Revised: March 4, 2023

Accepted: March 10, 2023

***Corresponding Author: wooramlee@ikw.ac.kr

Dept. of Unmanned and Autonomous Vehicle Engineering ,
Kyungwoon University, Korea

있는

기술을 적용하여 생산성을 향상하고 높은 품질의 농산물을 생산하는 등 농축산업 전반의 효율적인 생산에 이바지할 것으로 추정된다[4-5].

농산물 생산 작업 중 병해충 방제 작업은 생산 노동력 부분에서 약 15% 이상을 차지하고 있으며, 농산물의 품질 및 생산량 증가에 필수 요소이다[6]. 또한 고온·다습한 환경에서 농약을 살포하는 작업이므로 노동력의 강도가 상대적으로 높으며, 농약 중독 우려가 있어 대부분 꺼리는 작업이다. 농약 살포의 경우 다량으로 살포할 때 지면의 낙하 및 비산 등 손실되는 부분이 많아 환경적인 영향(바람, 속도, 온도 및 상대 습도 등)에 경제적인 손실을 줄일 수 있는 친환경 및 정밀 방제 기술이 필요하다. 따라서 방제 작업에 대한 기피 및 위험 감소 등 적용할 수 있는 농업용 무인 항공기(드론)를 이용한 항공 방제 방법을 체계화하여 작업 환경에 대한 개선 등 농산물의 품질 및 금액에서 경쟁력을 갖도록 해야한다[7].

이러한 문제를 해결하기 위해 무인 항공기를 이용한 방제 기법들이 개발되었고, 이를 통해 방제 작업자의 노동 강도를 최소화하고, 안전한 작업 환경을 제공하며, 대규모 필지에 적용할 수 있다. 또한 내리흐름(down wash)에 의한 침투 효과를 극대화할 수 있는 장점들이 존재한다[8].

농업용 드론을 안정적이고 효율적으로 비행하기 위한 선행 연구는 동축 반전 헬리콥터형 소형 무인기[6], 임베디드 컨트롤러 기반 자율 비행 시스템[9], 자동 비행 모드에 관한 분사 연구[10] 등 많은 연구가 이루어졌으나, 실제 분사에 따른 비산 영향에 관한 연구는 미비하였다. 방제 시스템에 관한 연구는 위성항법 보정시스템(DGPS: Differential Global Positioning System)를 이용한 실시간 정밀 방제 시스템 개발과 시비 및 방제 등 수도작 관리 작업의 효율 증대를 위한 이양기 부착 송풍식 입제 살포 등 많은 연구가 보고[11-12]되고 있으나, 비산 최적화에 관한 연구는 미비한 실정이다.

농업용 드론을 이용한 방제 작업 시 효율 및 안정적인 방제를 위해 일정한 고도 및 속도를 유지해야 한다. 그러나 드론 비행의 경우 환경적 요인, 조종 방법 및 작업자의 습관 등의 차별화된 요인이 작용할 수도 있으며, 수도 비행의 경우 일정한 고도를 유지하기에는 제한점이 존재한다. 또한, 고도 및 속도에 따라서 방제 폭 및

방제량을 조절할 수 있도록 자동 방제 장치를 적용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 방제 작업 시 미살포, 중복 살포 및 과도한 살포 등은 농작물에 피해 등 병행충에 영향을 받는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 살포 폭 및 살포 량에 대한 정량화된 수치가 필요하다.

이에 본 연구에서는 농업용 드론을 이용하여 속도 및 고도에 따라 균일한 살포가 가능한 노즐을 적용하여, 고도에 따른 방제 성능을 실험적으로 검증하려 한다.

II. 방제용 드론 특성

무인 헬리콥터에 의한 방제 작업 시 속도 및 고도 변화가 살포 폭 및 살포 량에 영향을 미치는 것으로 보고되었다[11]. 살포를 위한 펌프의 압력과 노즐 폭이 일정하다고 가정할 때, 비행 고도가 약 3 m 이상이면 기준 유효 살포 폭인 약 7.5 m 보다 넓은 유효 살포 폭을 형성하고, 약 3 m 이하이면 약 7.5 m 보다 좁은 유효 살포 폭을 형성하는 결과를 보고하였다. 또한, 비행 속도가 15 km/h 보다 빠르면 동일 면적에서 살포 량이 적어지고, 속도가 15 km/h 보다 느리면 살포 량이 많이는 결과를 보고하였다.

방제용 드론에서 요구되는 분사 성능으로 살포의 균일한 살포 량, 분사된 약액의 액적의 크기 및 속도, 분사된 액적의 부착율 및 비산 특성 등에 대해 보고되었다[12]. 방제용 드론의 경우 살포의 균일한 살포 량 평가를 수치적으로 나타내기 위한 지표 변이 계수를 사용하였다. 변이 계수는 살포 량의 평균에 대한 표준 편차를 백분율로 나타낸 수치이며, 이는 상대적 분포도를 나타낸다. 이를 적용하여 유효 살포 폭을 정의하였으며, 분사구 또는 노즐에서 분사할 때 균일하게 살포되었다고 판단되는 최대 폭을 제시하였다. 유효 살포 폭이 넓을수록 드론의 비행(운행) 횟수는 감소하게 되고 최종적으로 방제용 드론의 비행 시간이 결정되며, 최대 분사 효율을 결정하였다.

이에 본 연구에서는 비행 속도에 대한 영향을 분석하기 위해 4-5 m/sec. 으로 1 m/sec. 간격으로 설정하고, 고도는 4 m 로 고정하여 설정하고, 살포 폭 10 m 를 기준으로 유효 살포 폭을 설정하는 데 목적으로 가지고 있다.

III. 실험 재료 및 방법

1. 방제용 드론 기체 사양

본 연구에 적용된 방제용 드론은 EFFORT TECH 社 EFT 610 상용 모델로 Figure 1. 에 나타내었다. 비행 제어(FC: Flight Controller) 시스템은 DJI 社의 A3-AG 가 적용되었다. 제품의 크기는 전체적으로 프롭이 펼쳐진 형태를 고려하여 1,495 × 1,308 × 500 mm (가로 × 세로 × 높이)으로 회전 직경은 약 ± 1,404 mm 이며, 탱크 용량은 10 L, 최대 이륙 중량 24.9 kg 이다. 적용된 배터리는 용량은 약 4 kg 의 22.8 V, 12,000 mAh Li-Po 배터리 2 개를 사용하였으며, 실험 시간은 10 L 탱크에 가득 찬 기준으로 약 6-7 min 정도이다. 적용된 장치의 사양은 고압용 물 분사 장치를 탑재하기 위한 최소 조건으로 판단하고 기체를 선정하였다.



그림 1. 방제용 드론 형상(EFT 610)
 Figure 1. Photo of spraying drone(EFT 610)

본 연구에서는 설계된 고압 분사 장치 모듈[5]은 물(유체) 이송부와 분사부로 분류된다. 물 이송부의 경우 탱크에서 고압 펌프를 거쳐 물 공급 관으로 이어지며, 분사부는 Teejet 社 DG11002 노즐 팁, 직경 200 μm 의 노즐로써 탱크 중앙 1 개, 좌·우에 3 개씩 총 7 개(전동 노즐 3 개, 연장 노즐 4 개)의 노즐로 구성되었다. 분사 폭은 전동 노즐 약 3-4 m, 연장 노즐 약 4-5 m 를 유지할 수 있도록 설계되었다. 모터 펌프의 경우 WJD 社의 BPP-25 모델을 사용하였으며, 모터 펌프의 사양은 Table 1. 으로 정리하였다.

표 1. 모터 사양(BPP-25)

Table 1. Motor Specifications(BPP-25)

Specification	Unit	Values
Voltage	V	22-25

Power consumption	W	25
Input(DC)	V	22-25
Pressure	MPa	1.5
Max flow	L/min	3.5
Dimensions	mm	91 × 70 × 16
Weight	kg	0.29

2. 실험 방법

방제용 드론의 비행 이동 속도에 따른 액적의 분포 및 영향에 따른 실험으로 방제용 드론의 분사 노즐에서 분사된 액적이 드론의 비행 이동 속도에 따라 분포되는 특징에 대해 이에 대한 액적의 수치(분포도 등)를 분석하였다. 실험은 경남 진주시 집현면 지내리에서 진행하였으며, 선행 연구[13]를 통해 바람의 영향이 가장 약한 오전 7-9 시 사이에 진행하였다.

Figure 2. 은 액적의 분포를 측정하는 감수지 설치 위치 및 수량이다. 가로 7 장, 세로 5 장 총 35 장으로 구성하였으며, 유효 살포 폭을 설정하여 예상되는 위치에 설치하였고, 일정 고도에서 살포되도록 방제용 드론을 이동하였다. 살포 고도의 경우 농촌진흥청에서 제시하는 3 m 의 기준을 토대로 4 m 에서 어떠한 변화를 보여주는지 반복 실험을 수행하였다. 선행 연구 결과 고도 약 3 m 에서 액적 분산의 분포가 활발하며, 상대적으로 넓은 낙하 면적을 도출할 수 있다고 보고되어 방제용 드론의 고도는 4 m 로 고정하여 설정하였다. 또한, 비행 이동 속도 4-5 m/sec. 으로 1 m/sec. 간격으로 설정하여 실험을 수행하였다.

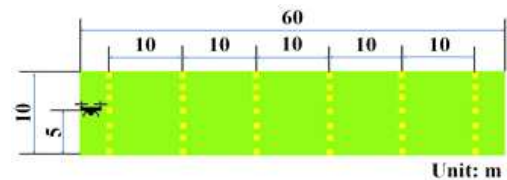


그림 2. 분사 실험 모식도
 Figure 2. Field Test of Spraying with Drone

IV. 결과 및 토의

1. 비행 속도에 따른 성능

Figure 3-4. 는 실험을 통해 관찰된 방제용 드론의 비행 속도에 따른 유효 살포 범위 및 액적의 형상을 보여준다. 방제용 드론의 고도를 4 m 로 고정한 후 비행

속도를 변화시켜 살포를 수행한 결과 감수지(약 76 × 52 mm)를 약 1.25 m 간격으로 좌우에 약 10 m 간격까지 배치하였고, 좌·우측 약 3.75 m 지점에서 입자가 감소하는 지점까지 측정을 수행하였다. 입자 크기 측정 상용 소프트웨어인 Image J 프로그램을 이용하여 감수지의 살포 패턴 중 분무 입자가 약 100 μm 이상[8]의 개수를 관찰해 약 100 개 이상이 존재하는 영역을 유효 살포 영역으로 지정하였다. 약 7.5 m 를 벗어나는 영역에서는 유효 살포 영역이 관찰되지 않았다.

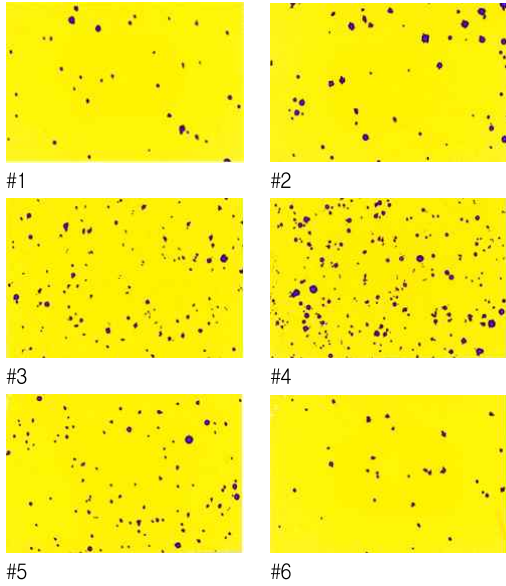


그림 3. 비행 속도 4 m/sec. 에 따른 액적 분포 형상
Figure 3. Spraying rate and pattern in speed 4 m/sec.

비행 속도에 따라 유효 살포 영역을 관찰한 결과 상대적으로 정량적이지 않지만, 선형적으로 증가하는 경향을 확인하였다. 덧붙여, 유효 살포 영역을 설치된 노즐의 각도에 변화가 필요할 것으로 판단된다.

2. 비행 속도에 따른 성능

Figure 5. 는 자동 비행에 따른 고도와 비행 속도를 나타낸 그래프이다. 기후의 영향 등에 따라 4 m 고도를 설정하여도 높이의 차이가 발생하였다. 또한, 4 m/sec. 속도로 고정하여 비행하여도 바람 및 비산 등 공기의 영향에 따라 미세한 변화는 발생하였다. 0 m 에서 출발하여 60 m 까지 설정된 고도 4 m 로 고정하였는데, 최저 고도 약 2.8 m 부터 최고 고도 약 4.2 m 측정되었고, 최저 속도 약 3.7 m/sec. 부터 최고 속도 약 8.2 m/sec. 로 속도의 변화를 보이며 비행하였다.

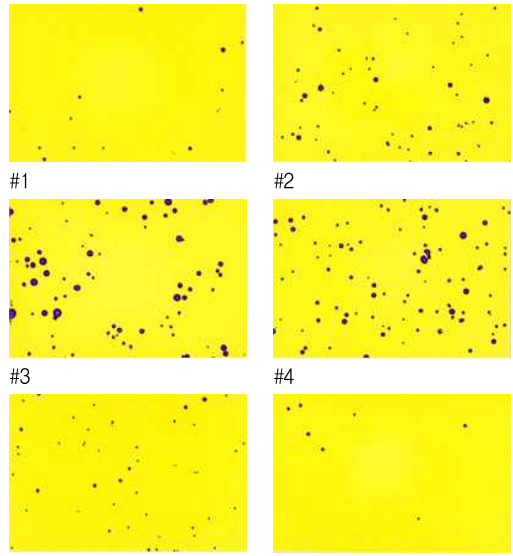
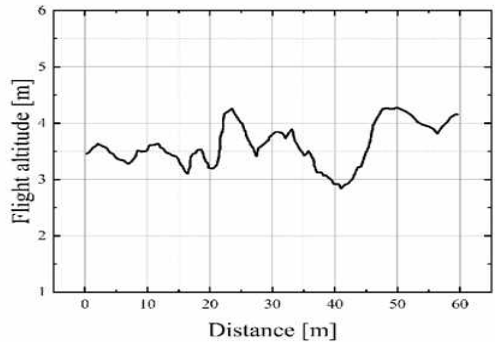
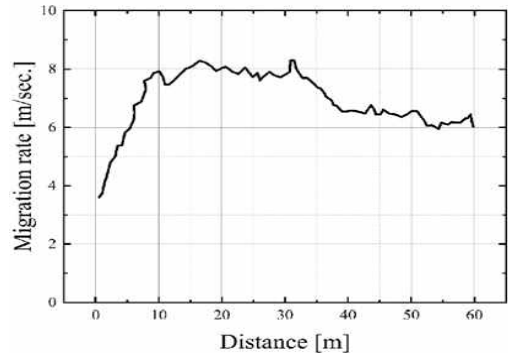


그림 4. 비행 속도 5 m/sec. 에 따른 액적 분포 형상
Figure 4. Spraying rate and pattern in speed 5 m/sec.



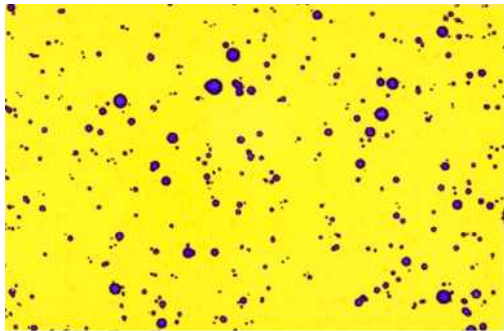
(a) 자동 비행에 따른 고도
(a) Flight Altitude



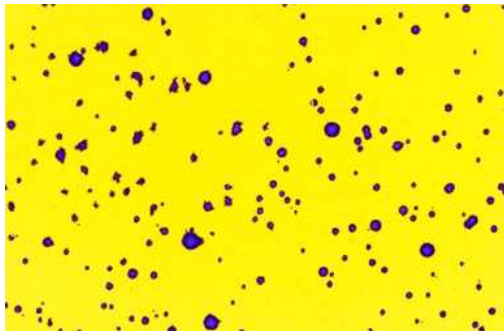
(b) 자동 비행에 따른 비행 속도
(b) Migration Rate

그림 5. 자동 비행에 따른 고도 및 속도 변화
Figure 5. Evaluation of Aerial Application Experiment

각 측정 구간에서 비행 속도에 따른 유효 살포 폭은 4 m/sec. 에서 7.5 m 에 근접해 있으나, 속도에 따른 2 가지 패턴을 보여주고 있다. 4 m/sec. 의 경우 입자가 합쳐져 그 크기가 커지는 경향을 나타내었다. 이는 분무된 액이 바깥으로 비산되는 패턴을 관찰할 수 있었다. 이는 고도 및 분사 노즐에 각도에 따라 비산되는 현상을 좀 더 완화할 수 있을 것으로 판단되며, 선행 연구[8]에 따라 노즐 각도 7.5-9° 범위에서 변화하면 정량적인 분무 효과를 보여줄 것으로 판단된다.



(a) 비행 속도 4 m/sec.
(a) 4 m/sec.



(b) 비행 속도 5 m/sec.
(b) 5 m/sec.

그림 6. 비행 속도에 따른 액적 현상
Figure 6. Spraying Rate and Pattern in Speed

V. 결 론

본 연구에서는 농업용 방제 드론의 분포 성능 평가의 문제가 제기되는 요인인 외부 환경 요소를 배제하고, 비행 고도와 속도를 이용하여 방제 성능에 대한 분포를 관찰하였다. 비행 고도를 고정하고 비행 속도 변화(4-5 m/sec.)에 따라 농약의 분포 성능을 실험적

로 검증하였다. 제안된 실험 방법을 통해 검증된 결과는 다음과 같이 요약하였다.

1) 분사 노즐 중심을 기준으로 좌·우측 약 3.75 m 지점에서부터 분사된 입자가 감소하기 시작하였다. 이를 통해 미살포, 중복 살포 및 살포 과도 등을 간접적으로 위치(지점)을 예측할 수 있었다.

2) 실험적 검증을 통해 유효 살포 폭은 약 7.5 m 정도로 설정할 수 있으며, 분무된 입자의 개수(약 100 μm 이상)는 약 100 개 이상이 존재하는 영역을 유효 살포 영역으로 가정할 수 있다.

3) 제안된 유효 살포 폭을 통해 농약 살포뿐만 아니라 입제기 적용도 가능할 것으로 판단된다.

덧붙여, 농업용 드론의 경우 피치, 진동 및 바람 등 환경적인 요인을 고려하여 최적화된 방제 작업의 개선이 필요하며, 식물의 영향을 분석하여 살포에 따른 약해 방지 대책에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] H. Kim, O.W. Kim and H.J. Lee, "Grain cultivation traceability system using ICT for smart agriculture," *Journal of Korea Institute of Information*, Vol. 13, No. 5, pp. 389-396, October 2020. <http://dx.doi.org/10.17661/jkiict.2020.13.5.389>
- [2] A.K. Moon, E.Y. Lee and S.H. Kim, "Development of Microclimate-based Smart farm Predictive Platform for Intelligent Agricultural Services," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 21-29, February 2021. <http://dx.doi.org/10.9723/jksis.2021.26.1.021>
- [3] J.C. Kim, S.H. Kwon, I.D. Ha and M.H. Na, "Survival analysis for tomato big data in smart farming," *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol. 32, No. 2, pp. 361-374, 2021.
- [4] Kippeum Choi, Sin-Seong Yu, Nam-Hee Yoo and Hyo-Jung Oh, "Pest Prediction and Prevention Model Visualization using Farm Map for Ecological Smart Farm," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 105-113, March 2021. <http://dx.doi.org/10.7465/jkdi.2021.32.2.361>
- [5] J.T. Lim, "Development of Spray Calculation Algorithm Using the Pest Control Drones," *Journal*

- of Convergence for Information Technology*, Vol. 10, No. 10, pp. 135-142, October 2020. <http://dx.doi.org/10.22156/CS4SMB.2020.10.10.135>
- [6] S.D. Kim, Y.S. Byun, J.B. Song, B.E Lee, W.J. S.J. Kim and B.S. Kang, "Design and Fabrication of a small Coaxial Rotorcraft UAV," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*. Vol. 37, No. 3, pp. 293-300, March 2009. <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2009.37.3.293>
- [7] B.K. Lee, B.R. Min, M.Y. Lee, Y.I. Hwa, D.S. Choi, J.T. Hong and D.W. Lee, "System Design for Developing the Remote Controlled Sprayer of Pear Trees," *Protected Horticulture and Plant Factory*. Vol. 22, No. 4, pp. 303-308, December 2013. <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2013.22.4.303>
- [8] S.H. Jee, B.I. Jeon and H.C. Cho, "Implementation of Aerial Application System for Application Uniformity," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 1, pp. 597-604, January 2016. <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.1.597>
- [9] S.D. Kim, Y.S. Byun, J.B. Song, B.E. Lee, W.J. Song, J. Kim and B.S. Jeong, "Design and Fabrication of a small Coaxial Rotorcraft UAV," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 37, No. 3, pp. 293-300, March 2009. <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2009.37.3.293>
- [10] Y.S. Byun, J.B. Song, J.N. Kim, J.S. Jeong, W.J. Song and B.S. Kang, "Conceptual Design and Development Test of an Unmanned Scaled-down Quad Tilt Prop PAV," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 42, No. 1, pp. 37-46, January 2014. <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.1.37>
- [11] S.H. Jee, B.I. Jeon and H.C. Cho, "Implementation of Aerial Application System for Application Uniformity," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 1, pp. 597-604, January 2016. <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.1.597>
- [12] S.K. Kim, D.Y. Lim and S.Y. Jung, "Low Cost Evaluation Method of Agricultural Drone with Simulated Spraying System," *Journal of Advanced Engineering and Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 77-84, July 2019. <http://dx.doi.org/10.35272/jaet.2019.12.2.77>
- [13] K.J. Kang, S.M. Chang, I.H. Ra, S.W. Kim and H.T. Kim, "Nozzl Flow Characteristics and Simulation of Pesticide Spraying Drone," *Smart Media Journal*, Vol. 8, No. 4, pp. 38-44, December 2019. <http://dx.doi.org/10.30693/SMJ.2019.8.4.38>