

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.4.569>

JCCT 2023-7-69

## 농업용 방제드론의 방제면적 산출에 따른 실험적 검증

### Experimental Vrification of the Sray Clculation using the Aricultural Done

이우람\*

Wooram Lee\*

**요약** 농업용 드론은 경제적 효율성으로 인해 활용도가 점차 증가하고 있으며, 비행을 담당하는 본체와 약제를 방제 대상까지 전달하는 임무를 담당하는 분무 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 드론을 활용한 농약 방제 작업 시 농작물에 대한 환경과 특성이 고려되어야 하며, 이에 따른 체계화된 비행 고도, 속도 및 분사 시간 등 조건이 달라져야 한다. 농업용 드론을 이용한 방제 작업은 조종자의 운용에 의존하고 있으며, 운용 숙련도에 따라 살포 효과 및 영향에 차이가 발생한다. 또한 농업용 드론에 관해 운용 기준 및 방제 효율 등의 편차가 발생하여 방제 작업 분야에서 농업용 방제 드론의 보급을 저해하는 요소로 작용하고 있다. 이에 본 연구에서는 농업용 드론의 살포 특성을 파악하여 유효 살포 시간 및 간격을 적용하고, 선행 연구와 비교하여 방제면적 산출이 가능한 체계를 실험적으로 검증하려 한다. 이러한 실험적 검증을 통해 농업용 드론에 운용 방식 및 체계화된 수치를 적용하여, 방제 작업의 저해요인을 최소화하여 최적의 방제 공정을 적용하고자 한다.

**주요어** : 농업용 드론, 방제 작업, 비행 고도, 비행 속도, 분사 시간, 방제면적 산출

**Abstract** An agricultural drones are gradually increasing in utilization due to economic efficiency, and consist of a main frame in charge of flying spray system in charge of moving pesticide to control targets. Therefore, the environment and characteristics of crops should be considered when controlling pesticides using drones and conditions such as systematic flying altitude of flight, speed, and spray time should be changed accordingly. However, pest control work using agricultural drones has different spray effects depending on level the operation proficiency and spray impact. In addition, there are variations in operating standards and control efficiency for agricultural drones, which hinder the distribution of agricultural control drones in the field of pest control work. Therefore, this study attempts to identify the spraying characteristics of agricultural drones, apply the effective spraying time, interval and experimentally verify the system that can calculation of spray area compared to previous studies. Through this experimental verification, it is intended to apply the optimal control process by minimizing the obstacles to pest control work by applying the operation method and systematic figures to agricultural drones.

**Key words** : Agricultural drone, Pest control work, Flying altitude of flight, Speed, Spray time, Calculation of spray area

\*정회원, 경운대학교 무인기공학과 조교수 (단독저자)  
접수일: 2023년 5월 27일, 수정완료일: 2023년 6월 16일  
게재확정일: 2023년 7월 3일

Received: May 27, 2023 / Revised: June 16, 2023

Accepted: July 3, 2023

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

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

## I. 서 론

현재 4차 산업혁명을 맞이하며 다양한 분야에서 생산 공정이 기계·대량화됨에 따라 인력의 노동력이 절감되는 동시에 편리성을 향상할 수 있게 되었다. 4차 산업혁명을 통해 생산 및 노동력의 최적화가 이뤄졌으며 이는 대부분의 산업 부문에 적용이 가능한 것으로 보고되고 있다[1]. 농업 부문에서도 이러한 4차 산업혁명을 적용하여 생산·유통·소비 등의 변화가 나타나고 있다. 농업용 드론의 경우 방제, 항공 예찰 및 영상 분석 등을 통해 실시간 정보 분석이 증가하고, 이에 걸맞게 드론 산업의 수요가 급증하고 있다[2]. 스마트팜 혁신 벨리 구축에 따라 스마트팜에 관해 농촌 인구 감소, 기후 변화로 인한 작물의 영향 및 고령화에 따라 많은 어려움을 겪고 있다[3-4].

농산물 생산을 위한 작업에서 병행중 방제 작업은 노동력 부분에서 약 15 % 이상이며, 농산물의 품질 및 생산량 증가에 필수 요소이다[5]. 이러한 문제점을 통해 드론을 이용한 방제 작업의 수요가 높아지고 있으며, 드론과 결합된 장비를 적용하여 농지의 토양 모니터링, 농작물 성장 상태 모니터링, 씨앗 파종 및 농약 살포 등의 임무를 수행할 수 있다[6-7].

고온·다습한 환경에 농약을 살포하는 방제의 경우 노동력의 강도가 높아 농약 중독의 우려가 있다. 또한 농약이 다량으로 살포할 때 지면 비산으로 인해 손실되는 부분이 많아 경제적 손실을 상대적으로 줄일 수 있는 친환경 정밀 방제 기술이 필요하다[8]. 따라서 방제 작업에 위험 요소 감소에 적용할 수 있는 농업용 드론을 이용한 항공 방제 방법을 체계화하여 방제 작업 환경 개선을 통해 농업 생산물의 품질 및 경쟁력 등을 갖도록 해야한다[9].

농업용 드론을 이용한 방제 작업에 있어 주요 요소는 농약에 관한 자료수집 및 분석이 필요하다. 2019 년 PLS(Positive List System) 제도 도입 및 시행으로 인해 농산물 잔류허용 기준을 0.01 ppm 으로 적용하였다 [10-11]. 또한, 농업용 드론을 안정적으로 비행하기 위한 선행 연구는 동축 반전 헬리콥터형 소형 무인기[12], 자동 비행 모드를 이용한 분사 연구[13] 등 다양한 연구가 보고되었다. 하지만 실시간 정밀 방제 시스템 미비와 방제 작업 시 수도작 관리 등 효율 증대를 위한 송풍식 입제 살포 등에 관한 연구가 진행되었으나

[14-15], 최적화된 방제 작업 시스템에 관한 연구는 미비한 실정이다.

농업용 드론을 이용한 방제 작업 시 안정적인 방제를 위해 체계화된 비행 고도 및 속도를 유지해야 한다. 하지만 드론을 이용한 방제의 경우 환경적 요인, 운용 방법 및 작업 인력의 습관 등 차별화된 요소가 적용될 수도 있다. 또한, 다양한 요소를 감소시킬 수 있다면 안정된 방제 작업을 진행할 수 있다. 이러한 문제를 해결 및 보완하기 위해 비행 속도에 따른 탑재 물량, 비행 시간 및 방제면적에 대한 정량화된 수치가 필요하다.

이에 본 연구에서는 산출 수식을 이용한 예측 및 선행 연구와 비교 분석을 통해 방제 시간 및 방제면적을 실험적으로 검증하려 한다.

## II. 관련 이론

### 1. 항공역학 적용 이론

로터에서 발생하는 하향풍의 속도는 구동 원반 이론(actuator disk theory)을 적용하여 모델링할 수 있다[5]. 제자리 비행(hovering flight)하는 회전체의 구동 원반의 모델이 Figure 1. 에 나타내었다.

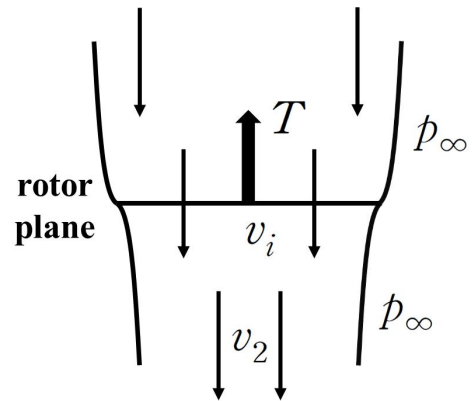


그림 1. 로터 구동 원반 모델[16]

Figure 1. Rotating disk drift space model of hovering flight[16]

기체 후면에서 발생하는 흐름은 대기압  $p_\infty$  이고, 정지한 로터 윗면에서 발생하는 공기에서 나오며, 아래 방향에서 나오는 압력은  $p_u$  로 다시 회복이 된다고 가정할 수 있다. 발생한 추력은 식(1) 와 같이 표현된다.

$$T = A(p_t - p_u) \quad (1)$$

$p_l$  은 원반구 아래쪽의 대기압으로 표현되고,  $p_u$  의 경우 원반구 위쪽 방향의 대기압,  $A$  는 원반구의 면적이다. 로터 위쪽면과 아랫면에 대해 베르누이 방정식을 적용하면 식 (2), (3) 으로 정리된다.

$$p_\infty = p_u + \frac{1}{2} \rho v_i^2 \quad (2)$$

$$p_\infty + \frac{1}{2} \rho v_i^2 = p_l + \frac{1}{2} \rho v_i^2 \quad (3)$$

$v_i$  와  $v_2$  는 각각 로터에서 유도되는 유도 속도(induced velocity)와 아래 방향에서 나오는 후류의 속도(wake velocity)이며, 식 (1)-(3) 으로부터 식을 조합하면 식 (4) 와 같이 정리된다.

$$T = \frac{1}{2} \rho v_2^2 A \quad (4)$$

## 2. 분사 시간

현재 보급된 농업용 드론의 살포 성능 파악 및 분석하기 위해선 노즐 및 펌프의 종류에 따라 그 적용 능력이 결정될 수 있다. 그러나 농업용 드론의 경우 비행 시 살포 능력이 결정될 수 있는 변수로는 모터, 노즐, 프로펠러, FC(Flight Controller) 및 펌프 등 다양한 구성품이 적용되며, 각 구성품 별 기능들을 분석 및 적용한다면 보다 정밀한 살포가 가능하다. 그러나 변수(구성품 등)들을 고려하기에는 물리적 제약이 존재하여 그에 따른 신뢰성을 고려한 구성품 특성을 파악하기에는 어려운 것으로 판단된다. 선행 연구를 통해 보고된 내용으로는 저비용으로 제품 모델별 살포 능력을 산출이 가능한 알고리즘이 개발되었고[1], 이를 적용한 농업용 드론 별 제작 업체의 모델별 유효 분사 시간을 적용하는 것이 중요하다. 또한 기존 연구 보고의 경우 모의 분사 장치 및 분사 실험 결과는 이륙 전 분사 시간, 이륙 후 제자리 비행 상태의 분사 시간 및 비행 상태의 분사 시간을 통합적으로 적용할 수 있다. 선행 연구된 분사 시간에 대한 개념 4 가지를 분류하여 적용하였다.

Table 1. 은 이륙 전 분사 시간, 이륙 후 제자리 비행 상태의 분사 시간, 비행 상태의 분사 시간, 비행 상태의 탑재 물량에 대한 분사 시간, 이륙 후 속도별 분

사 시간으로 세분화하여 정리하였다.

표 1. 분무 시간에 따른 변수 적용

Table 1. Subdivision and application of spray time[5]

State	Kind of spray time	Application
Aircraft non-operation	Spray time before take-off ( $ART_i$ )	Impossible
Aircraft operation	Spray time during hovering ( $AHT_i$ )	Possible
Operation considering the payload	Spray time depending on the payload ( $AQT_i$ )	Possible
Operation considering the speed	Spray time depending on the speed ( $AOT_i$ )	Possible

살포 분사 시간은 기체의 이륙 상태, 탑재 물량 및 비행 속도를 고려한 분사 시간을 파악하여 적용 면적 산출 시 오차가 최소화된다[1]. 이를 적용하여 유효 분사 시간 정의를 통해 면적 산출을 정식화 하면 다음과 같이 정리된다(식 (5)-(7)).

$$AT_i = ART_i \times WT_i \quad (5)$$

$$WT_i = \left( \frac{AOT_i - ART_i}{ART_i} \right) + 1 \quad (6)$$

$$HWT_i = \left( \frac{AHT_i - ART_i}{ART_i} \right) + 1 \quad (7)$$

$i$  의 경우 농업용 드론의 종류,  $AT_i$  는 농업용 드론  $i$  의 분사 시간[sec.],  $WT_i$  는 농업용 드론  $i$  의 분사 시간 가중치[pu],  $HWT_i$  는 농업용 드론  $i$  의 제자리 비행 중 분사 시간 가중치[pu],  $ART_i$  는 농업용 드론  $i$  의 이륙 전 분사 시간[sec.],  $AOT_i$  는 비행 중 분사 시간[sec.],  $AHT_i$  는 농업용 드론  $i$  의 제자리 비행 중 분사 시간[sec.] 로 정의하였다. 탑재된 물량 종류  $j$  에 따른 분사 시간 가중치를 적용하여 드론의 기체 모델과 적용된 펌프의 출력 특성 함수 분석 및 모델링이 필요하다. 선행 연구를 통해 기체별 살포 테스트를 통해 최소 제곱법(Method of least squares)를 활용하여 농업용 드론의 등가 살포 특성함수를 적용하였다. 최소 제곱법에서 미지수  $\beta_0, \beta_1$  을 편미분한 변수 추

정값은 다음과 같이 식 (8) 로 정리하였다.

$$\min \sum_{i=1}^n Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_i)^2 \quad (8)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

탑재 물량  $j$  에 따른 농업용 드론  $i$  의 등가 분사 시간 특성 곡선을 모델링하여 정리하면 식 (9) 와 같이 표현된다.

$$f_Q(X) = \hat{Y} = \bar{\beta}_0 + \bar{\beta}_0 X \quad (9)$$

농업용 드론 모델 별 탑재 물량 및 비행 속도에 따른 유효 분사 시간을 표현하면 식 (10)-(11) 과 같다.

$$OWT_{ij} = \left( \frac{AST_i - AOT}{AOT_i} \right) + 1 \quad (10)$$

$$ET_{ij} = \hat{Y}_{ij} \times OWT_{ij} \quad (11)$$

$OWT_{ij}$  의 경우 농업용 드론  $i$  의 비행 속도 별 농약  $j$  분사 시간 가중치[pul],  $AST_{ij}$  는 농업용 드론  $i$  의 속도별 농약  $j$  분사 시간[sec.],  $ET_{ij}$  는 농업용 드론  $i$  의 농약  $j$  유효 분사 시간[sec.] 으로 정의하였다 [1, 5].

### 3. 유효 분사 간격

농업용 드론의 핵심 기술은 드론 모델별 유효 살포 간격을 제시 및 파악하는 것이다. 그러나 드론 모델별 노즐의 특성이 다르므로 유효 살포 간격이 서로 다르게 나타난다. 농업용 드론의 유효 살포 간격을 고려하기 위해서는 적용 작물별 드론 모델의 높이, 노즐의 종류, 모델의 속도, 기상 조건, 노즐 위치 및 배치 간격, 액적의 크기, 농약의 종류 및 방제사의 조종 숙련도에 따라 다양하게 적용할 필요가 있다. 현재는 농약의 살포의

균일도를 중심으로 유효 살포 간격을 산정하여 분사 성능을 평가할 수 있다[5]. 선행 연구에 보고된 비행 시 실시간 살포의 균일도를 포함하여, Figure 2. 은 드론 운용 환경에 적합한 유효 살포 간격의 개념을 도식화하고, 지도 제작(Mapping)이 가능한 범위를 표현하였다.

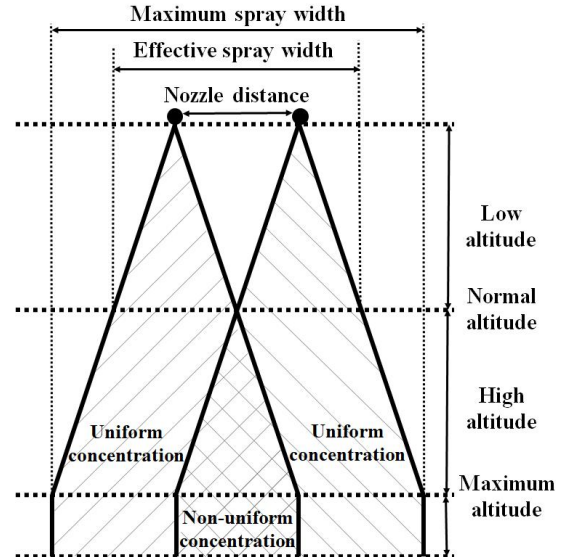


그림 2. 분사 노즐 압력에 따른 드론의 유효 분무 면적[5]  
Figure 2. A standard concept of effective spray width area of farming pest control drones[5]

농업용 드론의 유효 분사 간격을 검증하기 위해 유효 분사 시간이 파악되어야 한다. 농업용 드론의 제자리 비행 시 및 속도별 비행 시 유효 분사 시간이 다르므로 액적의 부착율 및 농도의 차이가 다양하게 발생할 수 있다.

유효 살포 간격은 살포 간격 범위를 제시된 정상 영역에서 고도를 유지할 경우 살포의 균일도 평가가 가능할 것이다. 선행 연구 보고에서 제시한 기체 고도를 고려한 유효 살포 간격을 정리하면 식 (12)와 같이 표현된다.

$$ND_{AB_i}(t) = \frac{(AL_i^* - \Delta AL_i(t))}{AL_i^*} \quad (12)$$

$ND_{AB_i}(t)$  의 경우 농업용 드론  $i$  의 유효 살포 간격[m],  $AL_i^*$  는 농업용 드론  $i$  의 기준 고도[m],  $\Delta AL_i(t)$  는 농업용 드론  $i$  의 비행 시 고도의 변화량[m] 으로 정의된다.

#### 4. 농약별 분사 간격

농업용 드론을 이용한 방제 작업 시 잔류 농약 허용 기준인 PLS(Positive List System)법[10]을 만족하기 위해선 농약 종류별 희석 비율에 따라 드론에 탑재 후 방제 작업을 수행하여야 한다. 그러나 방제사의 드론 운용 환경 및 조작 기법에 따라 드론의 속도 차이가 발생할 수 있으며, 이에 따라 단위 면적당 농작물에 부착되는 농약의 농도가 달라질 수 있는 문제가 발생한다. 덧붙여, UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 전용 농약의 경우 일반 농약보다 고농도로 구성되어 판매되고 있다. 이에 따라 병해충 발생 및 잔류 농약 허용 기준을 초과하게 되는 문제를 유발한다. 또한, 농약별 및 농약 혼합별 액적의 크기의 차이가 있으므로 살포 간격에도 차이를 보인다. 이와 같은 사항을 고려하여 정식화하기 위해선 실제 운용적인 부분을 고려해야 한다. ① 분사 용액(물)을 탑재하고 농업용 드론의 살포 간격을 측정 한 후, ② 농약별 살포 간격 가중치를 분석하여 설정한다면 방제 현장에서 비교적 쉽게 드론 모델 별 특성 파악이 가능할 것으로 판단된다. 식 (13)은 모델 별 특성에 따른 사항을 정리한 것이다.

$$ND_{AB_{ij}} = SAS_i \times W_{ij} \quad (13)$$

$ND_{AB_{ij}}$ 의 경우  $j$  농약을 탑재한 농업용 드론  $i$ 의 유효 살포 간격[m],  $SAS_i$ 는 농업용 드론  $i$ 의 물 분사 간격,  $W_{ij}$ 는  $j$  농약을 탑재한 농업용 드론  $i$ 의 분사 간격 가중치[pu]로 정의하였다[5].

### III. 실험 재료 및 방법

#### 1. 농업용 드론 기체 사양

본 연구에 적용된 방제용 드론은 EFFORT TECH社 EFT 610 상용 모델로 Figure 3.에 나타내었다. FC(비행제어, Flight Controller) 시스템의 경우 DJI社 A3-AG 모델을 적용하였다. 농업용 드론의 크기는 프로펠러가 펼쳐진 상태에서  $1,495 \times 1,308 \times 500$  mm (가로 × 세로 × 높이)이며, 회전직경은 약  $\pm 1,404$  mm이다. 분사 탱크 용량은 10 L, 장치의 무게인 최대 이륙 중량은 24.9 kg이며, 전력 시스템인 배터리 용량은 약 4 kg, 22.8 V, 12,000 mAh Li-Po 배터리 2 개를 사용하

였다. 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 장치를 선정하였다.



그림 3. 방제용 드론 형상(EFT 610)  
 Figure 3. Photo of spraying drone(EFT 610)

적용된 장치의 고압 분사 장치의 경우 Teejet社 DG11002 노즐 팁, 직경  $200 \mu\text{m}$ 의 노즐로써 탱크 중앙 1 개, 좌·우에 3 개씩 총 7 개(전동 노즐 3 개, 연장 노즐 4 개)의 노즐로 장착되었다. 분사 간격은 전동 노즐 약 3-4 m, 연장 노즐 약 4-5 m를 유지할 수 있도록 적용되었고, 모터 펌프의 경우 WJD社의 BPP-25 모델을 사용하였다[8].

#### 2. 실험 방법

적용된 농업용 드론의 비행 속도에 따른 액적의 분포 및 영향 등을 분석하는 실험으로 농업용 드론의 노즐에서 분사된 액적이 드론의 비행 속도 변화에 따라 분포되는 특징에 관해 액적의 분포도를 분석하였다. 실험 장소는 경남 진주시 집현면 지내리에서 진행되었으며, 선행 연구 보고[7]를 통해 바람의 영향이 상대적으로 약한 오전 7-9 시 사이에 수행하였다.

Figure 4.는 분사된 액적의 분포를 측정할 수 있는 감수지 설치 위치 및 수량이며, 가로 7 장, 세로 5 장 총 35 장으로 구성하였다. 유효 살포 간격을 설정하여 예상되는 위치에 적절히 설치하였고, 일정한 고도에서 살포할 수 있도록 하였다. 살포 고도는 농촌진흥청에서 제시하는 3 m의 기준을 통해 4 m에서 어떠한 변화를 가져오는지 반복 실험을 수행하였다. 선행 연구를 통해 비행 고도 4 m 고정하여 수행하였고, 비행 속도는 4, 5 m/sec.으로 속도당 100 회 비행을 설정하여 실험하였다.

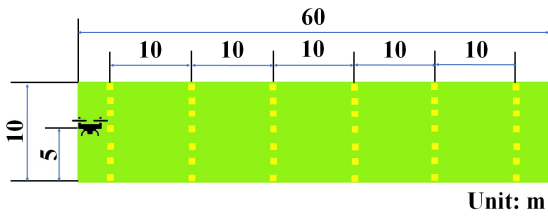


그림 4. 분사 실험 모식도  
Figure 4. Field Test of Spraying with Drone

#### IV. 결과 및 토의

##### 1. 분사 시간 검증

탑재한 물량의 종류는 시중에 판매 중인 생수를 이용하여 적용하였으며, 농약에 대한 점도가 종류별로 다르므로 실험에 적용하지 않았다. 덧붙여, 농업용 드론 모델별 유효 분사 시간 및 분사 간격을 측정하기 위해 선 살포의 안정성을 고려한 물을 탑재하였고, 설정한 가중치 데이터를 분석하여 적용할 수 있도록 설정하였다. Figure 5. 는 수식을 통해 도출된 수치, 선행 연구 수치 및 실험을 통해 도출된 수치를 적용한 그래프이다. 수식을 통해 도출된 수치를 기준으로 선행 연구 결과와 실험을 통해 얻은 결과의 경향은 비교적 비슷한 경향을 나타내었다. 하지만 7-10 L 까지의 유사한 경향을 보이고 있으나, 8 L, 10 L 부분에서 가장 큰 차이를 보였다. 이는 실험 수행 중 바람(하향풍 등)의 영향에 의해 발생한 것으로 판단되며, 수식을 통해 얻은 결과

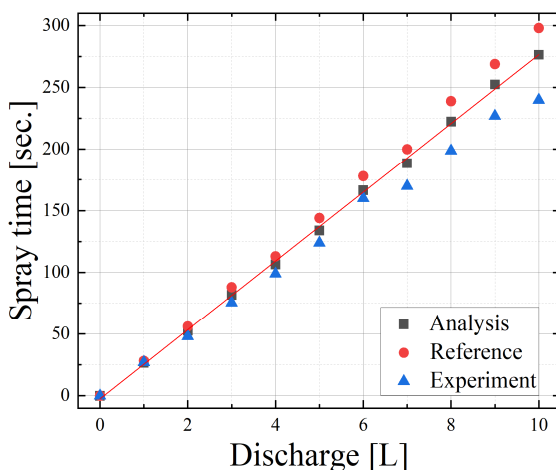


그림 5. 분사 시간에 따른 이론(알고리즘 적용), 선행 연구 및 실험 비교  
Figure 5. Measurement of effective spray time of discharge with each experiment

및 선행 연구 결과와 비교하였을 때, 약 5 % 내외인 것으로 분석되었다.

##### 2. 방제면적 산출 검증

현재 국내에 판매되거나 보급된 농업용 드론의 경우 방제면적 도출이 가능한 알고리즘을 적용한 결과 입력된 수치, 살포 시간, 비행 속도(4 m/sec.), 탑재 물량(물) 등 4 가지 정보를 통해 농업용 드론의 살포 특성 분석이 가능하였다. Figure 6. 은 도출된 결과를 그래프화한 것이다. 산출된 수치, 선행 연구 수치 및 실험 결과를 통해 분석한 결과 분사 시간과 유사한 경향을 나타내었다. 선행 연구와 같은 조건인 비행 속도 4 m/sec. 통해 도출된 결과 미소한 차이를 보였다. 산출된 수치와 비교하였을 때 선행 연구와 비교하였을 때보다 더 유사한 결과를 보였다. 이는 실험 결과가 적용된 수식을 통해 얻은 결과(알고리즘)에 적합했던 것으로 판단된다. 분사 시간과 유사하게 오차는 약 5 % 미만인 것으로 분석되었다.

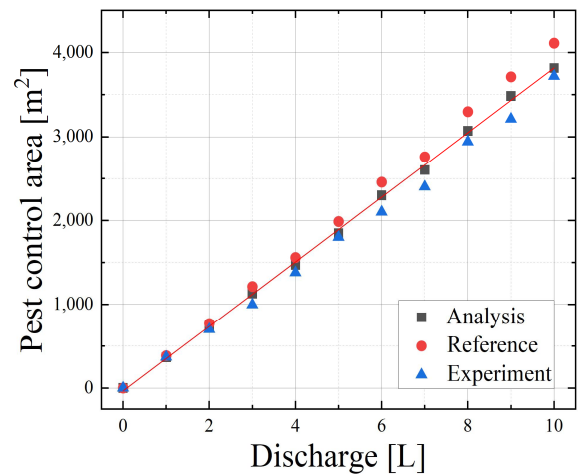


그림 6. 방제면적 평가에 따른 이론(알고리즘 적용), 선행 연구 및 실험 비교  
Figure 6. Evaluation of pest control area on application experiment

##### 3. 비행 속도에 따른 비산 특성

Figure 7. 은 실험을 통해 관찰된 농업용 드론의 비행 속도에 따른 방제면적 및 유효 살포 등 액적의 형상을 보여준다. 비행 속도는 4 m/sec. 와 5 m/sec. 을 비교하였는데, 비행 속도가 상대적으로 빠를수록 면적은 커지는 것을 실험적으로 검증하였다. 감수지에 관찰된

액적은 입자 크기 측정 상용 프로그램인 Image J 를 적용하여 감수지의 패턴을 관찰하였다[14]. 비행 속도에 따라 방제면적을 적용한 결과 상대적으로 정량적이지 않지만, 선형적으로 증가하는 경향을 확인하였다.

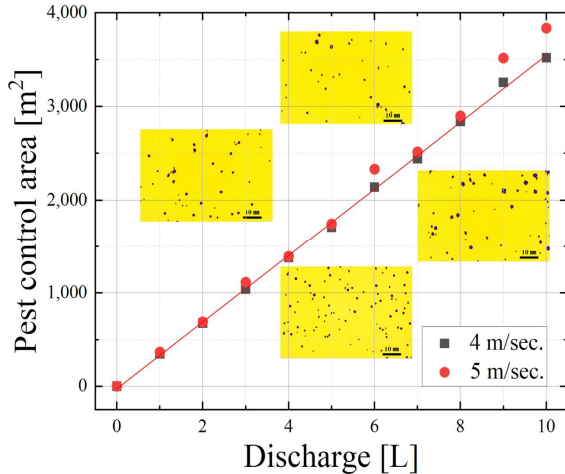


그림 7. 비행 속도에 따른 방제면적 비교  
 Figure 7. Pest control area of experiment in flight speed

## V. 결론

본 논문에서는 농업용 드론의 방제면적을 제시하기 위해 적용된 수식을 통한 산출된 수치, 선행 연구와 비행 속도(4-5 m/sec.) 변화에 따른 방제면적을 제시하였다. 또한 방제면적에 대한 성능을 감수지를 통해 액적의 분포를 관찰하였다. 비행 고도는 선행 연구와 같게 설정하였고(4 m), 탑재된 물량을 통해 분사 간격 및 분포 성능을 실험적으로 검증하였다. 제안된 실험 방법을 통해 검증된 결과는 다음과 같이 요약하였다.

1) 수식을 통해 산출된 수치를 기준으로 선행 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 8 L, 10 L 부분에서 오차를 발생하였으나, 이는 실험을 진행하는 과정에서 바람의 영향인 것으로 판단된다.

2) 방제면적을 산출하기 위해 수식을 통해 산출된 수치, 살포 시간, 비행 속도(4 m/sec.) 및 탑재 물량 정보를 통해 농업용 드론의 살포 특성 분석이 간접적으로 예측할 수 있었다.

3) 비행 속도 변화(4-5 m/sec.)를 통해 방제 가능 면적을 측정된 결과 정량적이지는 않지만, 유사한 경향을 도출한 것으로 판단하여 실험적 검증이 적절히 이뤄진 것으로 판단된다.

덧붙여, 농업용 드론의 경우 비행 속도 및 제원(탑재 용량 등)을 통해 방제 가능 면적을 간접적인 예측이 가능하였다. 하지만 국내 판매 및 도입된 농업용 드론의 제원이 다르므로 이에 대한 추가적인 실험 및 비행 방식(운용 방식, 고도 및 비행 속도 등)에 대한 데이터 구축이 필요할 것을 판단된다.

## References

- [1] J. T. Lim, "A Study on the Characteristic Analysis of the Pest Control Drones Using Smart Operating Mode," *Journal of Convergence for Information Technology*, Vol. 9, No. 10, pp. 108-113, 2019. <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2019.9.10.108>
- [2] J. D. Lee and C. M. Heo, "The Effect of Technology Acceptance Factors on Behavioral International for Agricultural Drone Service by Mediating Effect of Perceived Benefits," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 18, No. 8, pp. 151-167, 2020. <https://doi.org/10.14400/JDC.2020.18.8.151>
- [3] 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, 2021. <https://doi.org/10.9723/jksis.2021.26.1.021>
- [4] 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. <https://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, 2020. <http://dx.doi.org/10.22156/CS4SMB.2020.10.10.135>
- [6] Vijay Rana Mahima, "Impact of drone technology in agriculture," *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 9, No. 1, pp. 1613-1619, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781394168002.ch14>
- [7] K. J. Kang, "Nozzle flow characteristics and simulation of pesticide spraying drone," *Smart Media Journal*, Vol. 8, No. 4, pp. 38-45, 2019. <https://doi.org/10.30693/SMJ.2019.8.4.38>

- [8] W. Lee, S. B. Lee and J. T. Lim, "Study on Experimental Verification of Uniform Control using Agricultural Drone," *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 575-580, 2023.
- [9] 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, 2013. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2013.22.4.303>
- [10] H. Y. Kim, S. H. Yoon, H. J. Park, J. H. Lee, I. S. Gwak, H. S. Moon, M. H. Song, Y. M. Jang, M. S. Lee, J. S. Park and K. H. Lee, "Monitoring of Residual Pesticides in Commercial Agricultural Products in Korea," *The Korean Journal Food Science and Technology*, Vol. 39, No. 3, pp. 237-245, 2007. <https://doi.org/10.7585/kjps.2012.16.2.109>
- [11] J. H. Kim, S. J. Nam and J. Y. Song, "Susceptibility of Pine Wood Nematode Vectors to ULV Insecticides Sprayed from an Unmanned Helicopter," *The Korean Journal of Applied Entomology*, Vol. 59, No. 2, pp. 83-91, 2020.
- [12] S. D. Kim, Y. S. Byun, J. B. Song, B. E. Lee, W. J. Song, 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, 2009. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.03.0.005>
- [13] 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, 2014. <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.1.37>
- [14] 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, 2016. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.1.597>
- [15] 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, 2019. <https://doi.org/10.35272/jaet.2019.12.2.77>
- [16] S. Lee, G. Choi, and S. M. Chang, "Helicopter Engineering," Inter-Vision, 2002, Translated from the English version: S. Newman, Fundamentals of Helicopter Flight, Edward Arnold, London, 1994.

※ 이 연구는 2023년도 경운대학교 교내학술 연구비 지원으로 연구되었음.