



ORIGINAL ARTICLES

## 무인항공기 기반 농약 살포 확산에 따른 비산 저감 관리체계의 해외 사례 분석과 국내 적용 방안

박진선<sup>1</sup> · 이세연<sup>2</sup> · 이채린<sup>2</sup> · 박지연<sup>2</sup> · Rial Arifin Rajagukguk<sup>3</sup> · 노현호<sup>4</sup> · 홍세운<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소,

<sup>2</sup>전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21(4단계) 기후지능형 간척지 농업교육연구팀,

<sup>3</sup>전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과, <sup>4</sup>국립농업과학원 잔류화학평가과

## Analysis of International Drift Reduction Management Frameworks for Expanding UAV-Based Pesticide Application for Domestic Implementation

Jinseon Park<sup>1</sup>, Se-yeon Lee<sup>2</sup>, Chae-rin Lee<sup>2</sup>, Ji-yeon Park<sup>2</sup>, Rial Arifin Rajagukguk<sup>3</sup>, Hyun ho Noh<sup>4</sup>, and Se-woon Hong<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

<sup>2</sup>Department of Rural and Bio-systems Engineering, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

<sup>3</sup>Department of Rural and Bio-systems Engineering Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

<sup>4</sup>Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wannju, 55365, Korea

(Received on February 10, 2026. Revised on March 10, 2026. Accepted on March 10, 2026)

**Abstract** This study reviewed major spray drift mitigation guidelines from the United States (EPA), the European Union (EU), and Australia (APVMA) in response to the growing importance of pesticide drift management in unmanned aerial application. All three systems use buffer zones as a core drift mitigation measure, but differ in their regulatory logic: the United States follows an incentive-based approach, the EU an assessment-based approach, and Australia a label-based control approach. These cases suggest that effective drift management depends on the combined use of baseline buffer zones, science-based recognition of drift reduction technologies, and clear operational requirements. Buffer zones function as a common minimum protective measure, while vegetative barriers serve as supplementary rather than substitute measures. This study provides a foundation for developing a domestic pesticide drift management framework, and future research should quantify the effectiveness of buffer zones and vegetative barriers under aerial application conditions through field-based pilot experiments.

**Key words:** Aerial application, Buffer zone, Pesticide regulation, Spray drift, Vegetative barrier

### 서론

국내 농업 분야에서는 농촌 인구 감소와 고령화 심화에 대응하기 위한 대안으로 멀티콥터 등을 활용한 항공 살포(aerial application)가

빠르게 확산되고 있다(Park et al., 2023b; Chen et al., 2022). 멀티콥터 기반 항공 살포는 작업 효율성과 접근성을 동시에 확보할 수 있어 적용 면적이 증가하는 추세로 보고되고 있다(Chen et al., 2022). 그러나 항공 살포 특성상 살포 고도, 하강 기류, 난류 영향 등으로 인해 비표적 영역으로의 농약 이동 가능성이 증가하며, 이는 농약 비산(spray drift) 관리의 중요성을 더욱 부각시키고 있다(Wang et al., 2021).

우리나라 농업 환경은 소규모·분산형 농지 구조를 기반으로 친환경

\*Corresponding author  
E-mail: hsewoon@jnu.ac.kr

인증 농경지, 시설원에 단지, 과수원, 관행 농지 등이 공간적으로 인접하거나 혼재된 특징을 가진다. 이러한 공간적 인접성은 필지 간 농약 이동에 따른 비의도적 농약오염에 따른 갈등 가능성을 구조적으로 내포한다. 특히 2019년 전면 시행된 농약허용물질목록 관리제도(Positive List System, PLS)는 등록되지 않은 농약 성분이 0.01 mg kg<sup>-1</sup> 초과하여 검출될 경우, 잔류허용기준(Maximum Residue Limits, MRL) 초과로 간주하여 출하 제한에서 친환경 인증 취소에 이르기까지 엄격한 판정 기준을 적용하여 농산물 안전성 관리를 강화하였다(Kang et al., 2018). 이후 2023년 관련 시행규칙 개정을 통해 불검출 원칙을 완화하여 MRL의 20분의 1 이하 또는 MRL 미설정 성분의 경우 0.01 mg kg<sup>-1</sup>이하를 허용 기준으로 적용하고, 동시에 친환경 농업인에게 비의도적 농약오염 방지를 위한 노력 의무를 부여하는 등 비의도적 오염에 대한 일부 완화 기준이 도입되었다(MAFRA, 2023). 이와 같이 농약 관리와 비산에 대한 정책적 기준이 점진적으로 확립되고 있으나, 여전히 농약 사용자의 예방적 관리 의무에 의존하는 형태로 운영되어 살포 행위에 따른 규제 및 지침 마련의 필요성이 강화되고 있다.

농약 비산은 고압 살포 장치를 통해 분사된 미세 약액 입자가 대상 작물을 벗어나 인접 지역으로 이동하는 현상으로 정의된다(ISO, 2005; Nuyttens et al., 2007). 비산 메커니즘은 분사된 약액이 관성력에 의해 작물 캐노피를 관통하거나 초과하여 인접 지역에 직접 도달하는 경우와, 분사 후 공기 중에 부유한 약액 입자가 풍속과 난류에 의해 장거리 이동하는 경우로 구분된다(Chen et al., 2022; Nuyttens et al., 2007; Wang et al., 2021). 또한 멀티컴퓨터 기반 살포의 경우 회전익에 의해 형성되는 하강기류(downwash)와 와류가 입자의 재부상 및 수평 확산에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Chen et al., 2022; Wang et al., 2021).

이러한 비산 메커니즘을 고려하여 농약 입자의 도달거리 및 이동 범위를 감축하기 위한 대표적 수단으로 살포 구역과 보호 구역 사이에 일정 거리의 비살포 영역을 설정하는 완화구간(buffer zone) 도입 기술과, 수목 또는 식생대를 조성하여 물리적 장벽을 형성하는 차단식물(vegetative barrier) 설치 기술을 꼽을 수 있다(Ucar and Hall, 2001; Lazzaro et al., 2008; Otto et al., 2015). 차단식물은 식생의 폭, 밀도, 광학적 다공도 등에 따라 비산 입자 포집 효율이 달라지는 것으로 보고되었으며(Lazzaro et al., 2008; Kjær et al., 2014), 하천 인접 지역에서는 수계 보호 측면에서 유의한 저감 효과가 확인된 바 있다(Hancock et al., 2019). 국내에서도 항공 살포 확대에 따라 비산량 측정 및 예측모델 개발 연구(Park et al., 2021; Lee et al., 2024), 정량 평가를 위한 시험 체계 구축(Park et al., 2023b), 차단식물의 저감 효과 분석(Park et al., 2023a) 등의 연구가 수행되었다. 그러나 이러한 연구는 주로 비산량 정량 평가 및 시험 방법론 확립에 초점을 두고 있어, 실제 정책 설계 차원에서 완화구간 설정

기준, 저감 기술 인정 방식, 살포 조건 규제 체계 등을 통합적으로 제시하는 데에는 한계가 있다.

한편 미국 환경보호청(U.S. EPA), 유럽연합(EU), 호주 농약·수의약품청(APVMA)은 농약 등록 및 사용 관리 체계 내에서 비산 저감을 위한 완화구간 설정과 저감 기술 반영 절차를 제도화하고 있으며(U.S. EPA, 2025b; EFSA, 2014; APVMA, 2018), 위험평가 결과를 라벨 또는 관리 지침에 체계적으로 반영하고 있다. 이들 국가는 각각 저감 기술 도입을 유도하는 인센티브 기반 구조, 정량적 위험평가 중심의 평가 체계, 라벨 조건의 명확성을 강조하는 통제 모델이라는 상이한 접근을 발전시켜 왔다. 이러한 차이는 규제 유연성, 과학적 타당성, 현장 집행력이라는 서로 다른 정책 목표를 반영한 결과로 이해할 수 있다. 그러므로 세 국가의 제도 설계 방향과 운영 방식을 비교·고찰하는 것은 국내 비산 저감 관리 제도 설계 시 다양한 정책적 선택지를 검토하고, 현장 수행력과 정책적 효과성을 동시에 확보할 수 있는 분석적 근거를 제공한다.

따라서 본 연구는 농약 항공 살포 확산이라는 국내 농업 환경 변화에 대응하기 위하여, 미국(EPA), 유럽연합(EU), 호주(APVMA)의 농약 비산 저감 가이드라인을 비교·분석하고, 완화구간 및 차단식물 적용 체계의 운영 논리를 고찰함으로써 국내 비산 관리 지침 마련을 위한 제도적·기술적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하며, 이를 통해 농약 비산 저감 노력이 자발적 선택에 머물지 않고 제도적으로 유인·견인될 수 있는 관리 프레임워크 구축의 방향성을 제시하고자 한다.

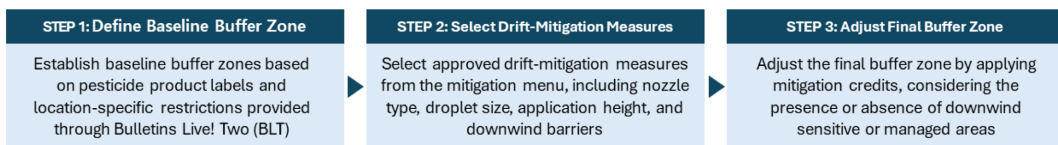
## 국외 항공 살포 기반 농약의 비산 저감을 위한 완화구간 및 차단식물 운영 지침 분석

### 미국 (Environmental Protection Agency, EPA)

미국은 연방 차원의 위험 기반 규제 체계에 따라 항공 살포를 포함한 농약 살포 전반을 관리하고 있으며, 비산 저감을 위한 기술 프로그램을 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)이 총괄적으로 운영하고 있다. 이러한 체계는 과학적 위험평가 결과를 제품 라벨과 공간정보 기반 시스템에 반영하고, 저감 기술 도입 수준에 따라 완화구간을 조정할 수 있도록 설계된 점에서 대표적인 위험 기반 관리 모형으로 평가된다.

EPA가 운영하는 농약 비산 저감 프레임워크는 Fig. 1과 같이 기본 완화구간 설정-저감 기술 선택-완화구간 조정의 단계적 구조로 구성된다. 초기 완화구간은 독성자료, 노출평가, 표준 침적곡선 등을 기반으로 산정되어 제품 라벨에 명시되며, 이는 이후 조정의 기준이 되는 기본 완화구간에 해당한다(U.S. EPA, 2013; U.S. EPA, 2025b).

첫 단계에서 EPA는 제품 라벨을 통해 살포 방식, 입경 크기, 허용 풍속 범위, 비표적 영역으로부터의 최소 이격거리 등 기본 사용



**Fig. 1.** Overview of the U.S. EPA pesticide spray-drift mitigation framework, a three-step decision process consisting of (1) baseline buffer-zone determination based on product labels and BLT, (2) voluntary selection of approved drift-mitigation measures from the mitigation menu, and (3) adjustment of the final buffer zone considering mitigation credits and downwind managed or sensitive areas.

제한 사항을 규정한다. 일부 제품의 경우 라벨에서 지도 기반 웹 시스템인 *Bulletins Live! Two (BLT)*를 참조하도록 요구하며, BLT는 살포 지역과 시기에 따라 수생 서식지, 보호구역, 멸종위기종 서식지 등 공간적·환경적 조건을 반영한 추가 제한 정보를 제공한다. 라벨이 BLT를 명시적으로 참조하는 경우, BLT에 제시된 제한 사항은 법적 구속력을 갖는 사용 제한(enforceable use limitations)으로 간주된다(U.S. EPA, 2013; U.S. EPA, 2025a,b). 다음 단계에서는 사용자가 비산 저감 기술을 선택적으로 도입할 수 있도록 ‘mitigation menu’라는 표준화된 산정 체계를 운영한다. Mitigation menu는 노즐 유형, 입경 크기, 살포 높이, 풍하측 차폐 구조물 또는 식생 차단물 설치 여부 등 다양한 저감 기술에 대해 과학적 근거에 기반한 감축 계수를 제시한다(U.S. EPA, 2025c). 이를 통해 농약 살포 수행자는 현장 조건과 장비 특성에 부합하는 저감 기술을 조합하여 적용할 수 있으며, 이는 규제 준수와 동시에 비산 저감 기술 도입을 유도하는 구조로 작동한다. 완화구간 조정 단계에서는 라벨 또는 BLT에서 제시된 기본 완화구간을 입력값으로 하여, mitigation menu에서 인정되는 저감 기술 적용에 따른 감축률을 반영하여 최종 준수 완화구간을 산정한다. 이때 풍하측에 수생 서식지, 자연보호구역, 주거지 등 관리구역(managed areas 또는 sensitive areas)이 존재하는 경우 감축 폭이 제한되거나 기본 완화구간이 유지된다. 반대로 관리구역이 존재하지 않는 경우에는 동일한 살포 조건에서도 저감 기술 도입 수준에 따라 완화구간 감축이 허용된다.

차단식물(windbreak, hedgerow, riparian vegetation, forest, shrubland 등)은 독립적 규제 수단이라기보다 완화구간 감축을 위한 인정 저감 기술 중 하나로 포함된다. 즉, 차단식물은 기본 완화구간을 대체하는 개념이 아니라, 정량적 저감 효과가 인정되는 기술적 선택지로 작동한다. 차단식물의 유형, 폭, 연속성 등에 따라 상이한 감축 계수가 적용되며, 다른 저감 기술과 병행 적용이 가능하다(U.S. EPA, 2015).

예를 들어 항공 살포 시 수생 서식지로부터 기본 완화구간이 150 ft (45.72 m)로 설정된 제품을 가정할 경우, 중간 입경 조건에서 차단식물 유형에 따라 완화구간이 단계적으로 조정된다. 저감 기술을 적용하지 않을 경우 기본 완화구간인 150 ft를 그대로 준수해야 한다. 반면, 기본 수준의 차단식물을 설치하여 50% 저감률을 인정받는 경우 완화구간은 75 ft(22.86 m)로 감소한다. 구조적으로 강화된 차단식물을 적용하여 75% 저감률이 인정될 경우 완화구간은 37.5 ft로 산정되며, 5 ft 단위 반올림 규정에 따라 최종 40 ft(12.19 m)로 조정된다. 또한 폭 60 ft 이상 고밀도 식생대가 형성된 경우 100% 저감이 인정되어 완화구간이 0 ft로 조정될 수 있다.

이와 같은 EPA 체계는 초기 완화구간을 고정적으로 적용하는 방식이 아니라, 저감 기술 도입 수준에 따라 완화구간을 단계적으로 감축하는 구조를 특징으로 한다. 특히 항공기 및 멀티콥터 기반 살

포와 같이 비산 잠재력이 높은 조건에서도 노즐 특성, 입경 조절, 살포 높이 관리, 풍하측 차단식물 설치 등의 조합을 통해 비산 위험을 정량적으로 관리할 수 있다는 점에서 정책적 유연성을 제공한다.

다만, 저감 기술별 감축률을 표준화된 계수로 제시하는 방식은 제도 운용의 일관성과 예측 가능성을 확보하는 장점이 있는 반면, 기상 변동성, 작물 캐노피 구조, 차단식물 생육 상태 등 현장 조건에 따른 저감 효과 편차를 충분히 반영하지 못할 가능성도 존재한다. 따라서 이러한 계수 기반 인정 체계는 실증 자료 축적과 현장 검증 연구를 통해 지속적으로 보완될 필요가 있다. 이는 향후 국내 제도 도입 시 파일럿 실험과 병행한 검증 연구의 필요성을 시사한다.

**유럽연합 (Europe Union, EU) 비산 저감 관리 체계**

EU는 회원국 간 농업 환경, 작물 유형, 경관 구조가 상이하다는 점을 전제로 농약 살포와 비산 관리에 대해 다층적 규제 구조를 적용한다는 특징을 갖는다. 이는 단일한 수치 기준을 일률적으로 적용하기보다 EU 차원의 기본 원칙과 회원국별 실행 체계를 결합한 규제 구조를 채택하는 것을 의미한다. 이러한 틀은 농약 승인 및 시장 유통을 총괄하는 Regulation (EC) No. 1107/2009와(European Commission, 2009a) 농약의 지속가능한 사용을 규정하는 Directive 2009/128/EC(Sustainable Use Directive, SUD)에 의해 형성된다(European Commission, 2009b). SUD는 회원국이 국가행동계획(National Action Plan, NAP)을 수립하여 농약 사용으로 인한 인체 및 환경 위험을 저감하도록 요구하며, 비산을 핵심 관리 대상으로 명시하고 있다. 특히 SUD 제 9조는 농약의 항공 살포를 원칙적으로 금지하고 있으나, 인체 및 환경에 대한 위험이 최소화되며 지상 살포 대비 명확한 이점이 입증되는 경우에 한하여 예외적 허용을 가능하도록 규정하고 있다. 멀티콥터를 활용한 살포는 법적으로 항공 살포에 포함되므로 동일한 규제 체계의 적용을 받는다. 다만 최근 정밀농업 확대와 노동력 문제 등으로 멀티콥터 활용에 대한 정책적 관심이 증가함에 따라, 일부 회원국에서는 엄격한 조건 하에서 제한적 허용 방안을 모색하고 있으며, EU 차원에서도 관련 위험평가 기준 정립에 대한 논의가 진행되고 있다(EFSA, 2025).

또한 EU 체계의 중요한 특징 중 하나는 비산의 정량적 평가 체계 마련이다. 위험평가에서는 FOCUS(Forum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use)에서 제시한 비산 곡선과 시나리오를 활용하여 거리별 침적량을 추정하고, 수생생물 및 비표적 식생에 대한 노출을 평가한다(EFSA, 2014). 또한 ISO 22866은 현장 조건에서의 비산 측정 방법을 표준화함으로써 모델 기반 예측 값을 실증 자료로 검증할 수 있는 기반을 제공한다(ISO, 2005). 다만 FOCUS 비산 곡선은 주로 지상 분무기 및 전통적 항공기 살포 조건을 기반으로 구축되었기 때문에, 저고도·저속·국소 살포

**Table 1.** Case study of adjusted buffer-zone calculation with vegetative barriers: Example of buffer zone adjustment based on vegetative barrier type under the U.S. EPA spray drift mitigation framework

|   |                |                                   |
|---|----------------|-----------------------------------|
| Baseline buffer zone required by label                |                | 150 ft (45.72 m)                  |
| Droplet Size Distribution (DSD)                       |                | Medium                            |
| Vegetative barrier type                               | Reduction rate | Adjusted buffer distance (ft)     |
| Basic windbreak/ hedgerow/ shelterbelt                | 50%            | 150 × (1 - 0.50) = 75 (22.86 m)   |
| Advanced windbreak/ hedgerow/ shelterbelt             | 75%            | 150 × (1 - 0.75) = 37.5 (11.43 m) |
| Riparian/ forests/ woodlots/ shrubland >60-foot width | 100%           | 150 × (1 - 1.00) = 0              |

특성을 갖는 멀티콥터 살포에 그대로 적용하는 데에는 한계가 있다. 예를 들어 회전익에 의한 하향풍 발생에 따른 입자 거동 변화, 살포의 불균일성 등은 기존 시나리오에서 충분히 반영되지 않는다. ISO 22866 역시 측정 원리는 적용 가능하나, 멀티콥터 활용으로 발생하는 공력 특성을 고려한 시험 설계 보완이 요구된다.

EU에서는 멀티콥터 활용과 평가 방식에 이러한 공백을 인식하고, 멀티콥터 살포에 대한 과학적 위험평가 기준을 명확히 하기 위한 논의가 진행되고 있다. EFSA 차원에서 무인항공 살포의 노출 특성과 비산 거동을 반영한 평가 가이드라인 개발 필요성이 제기되고 있으며, 일부 회원국은 급경사지에 위치한 포도밭 등 특정 조건 하에서 멀티콥터 활용을 예외적으로 허용하는 방향으로 제도를 운영하고 있다(Chen et al., 2022; EFSA, 2025, Furiosi et al., 2025).

완화구간 및 차단식물 거처에 대해 살펴보면, EU 체계에서도 완화구간은 수생생물 및 비표적 식생 보호를 위한 핵심 수단으로 활용되지만, 그 수치와 적용 방식은 회원국별 위험평가 결과에 따라 달라진다. 일부 회원국에서는 노즐, 분무기, 차폐 장치 등을 비산 저감 성능에 따라 등급화하고, 일정 수준 이상의 저감 성능을 갖는 장비 사용 시 완화구간을 축소하는 제도를 운영한다(ISO, 2019). 이 경우 완화구간은 규제에 의해 고정된 값이 아니라 장비 성능 및 운영 조건에 따라 조정 가능한 관리 변수로 기능한다.

차단식물은 완화구간을 대체하는 수단이라기보다 비산 경로를 물리적으로 차단·회석하는 보완적 저감 기술로 인식된다. 현장 연구에서는 생울타리가 미립자의 70% 이상을 포집할 수 있음이 보고되었으며(Lazzaro et al., 2008), 완화구간과 병행 적용 시 침적량이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다(Kjær et al., 2014). 하천 인접 농경지에서 생울타리 식재 시 비산 침적량이 약 90% 감소한 사례도 보고된 바 있다(Hancock et al., 2019).

EU의 비산 관리 체계는 완화구간 감축 자체를 정책 목표로 설정하기보다는 정량적 위험평가와 회원국별 실행 체계를 통해 비산 위험을 관리하는 데 중점을 둔다. 이는 저감 기술 도입에 따라 완화구간을 단계적으로 공제하는 미국 EPA의 구조와 대비된다. 동시에 UAV 살포가 원칙적 금지와 예외적 허용이라는 규제 맥락 속에서 논의되고 있다는 점은, EU 체계가 UAV 확산을 제도적으로 수용하기 위해 추가적인 과학적 검증과 가이드라인 정립을 요구받고 있음을 시사한다.

## 호주 (Australia) 항공 살포 규제 및 비산 저감 정책

호주는 연방 차원의 단일 규제 기관인 농약·수의약품청(Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority, APVMA)이 농약 등록, 사용 승인 및 표적 지역 외 농약 비산이 주민 건강, 환경, 농산물 국제 교역에 위해를 초래하지 않도록 농약 및 비산에 의한 위해성 전반에 걸친 관리를 총괄하는 중앙집중적 구조를 갖는다. 호주의 비산 관리 체계는 제품 라벨에 완화구간과 살포 조건을 구체적으로 명시하고, 이를 법적 준수 사항으로 운영하는 것이 핵심이다. 즉, 비산 관리는 개별 현장 판단보다는 등록 단계에서 확정된 라벨 조건을 중심으로 관리되는 구조를 가진다.

APVMA는 농약 비산 위험과 관련한 운영 원칙(operating principles)을 발간하고, 2010년부터 신규 농약 제품 등록 신청 시 사용 승인 절차의 일부로 비산 위험 가능성을 평가하도록 요구하였다. 이 과정에는 운영 고시(operational notice)의 개발이 포함되었으며, 신규 제품의 라벨에는 성분과 용량에 따라 해당하는 경우, 의무 완화구간을

포함한 사용 지침을 명시하도록 하였다. 다만, 이러한 2019년 이전의 정책은 비산이 최대화되는 조건을 전제로 한 보수적 산정 방식을 적용함으로써, 현장에서 다양한 비산 저감 기술이나 모범적 관리기술(best practice)을 채택하더라도 완화구간 감축으로 직접 연결되는 유인 구조는 제한적이라는 한계가 지적되었다(GRDC, 2021).

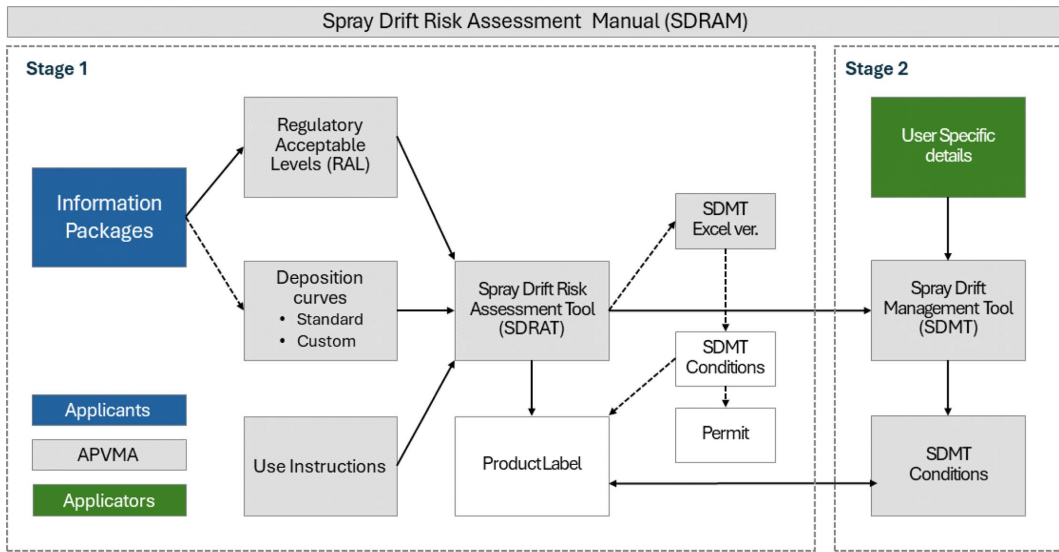
이에 따라 APVMA는 2019년 7월, 비산 위험 평가 매뉴얼(Spray Drift Risk Assessment Manual, SDRAM)을 중심으로 한 새로운 단계적 접근을 도입하여 비산 관리 체계를 정비하였다. Fig. 2는 APVMA의 2019년 이후 단계적 비산 위험 평가 절차를 설명한다. 이 평가 절차는 제품 등록 신청 단계에서 제출된 독성 및 노출 자료를 기반으로 규제 허용 수준(regulatory acceptable levels, RALs)을 산정하고, 이를 표준 침적곡선(standard deposition curves)과 연계하여 라벨에 명시될 완화구간을 도출하는 일련의 과정을 나타낸다(APVMA, 2019; APVMA, 2020). 개정 체계에서는 비산이 최대 발생하는 조건을 적용하되, 제품 특성에 기반한 규제 허용 수준을 설정하고, 표준 침적곡선을 활용하여 완화구간을 산정하도록 구조화하였다. 또한 신규 비산 저감 기술 인정 절차와 비산 지침 갱신 체계를 마련함으로써, 라벨 완화구간 산정 과정에서 저감 기술 반영의 폭을 확대하였다.

제품 개발자는 농약 등록 신청 시 RAL 산정을 위한 자료를 제출해야 하며, 민감 구역 유형에 따라 RAL을 도출하도록 되어 있다. 풍하측에 주거지, 자연 수생태계, 꽃가루 매개 곤충 서식지가 존재하는 경우 의무 완화구간이 적용되며, 작물 재배지나 가축 사육 시설에 대해서는 권고 완화구간이 설정된다. 승인된 RAL을 비산 위험 평가 도구(Spray Drift Risk Assessment Tool, SDRAT)에 입력하면, 적절한 표준 침적곡선이 선택되고, 이를 통해 라벨에 명시될 완화구간이 산정된다. Stage 1에서는 이러한 산정 결과가 제품 라벨 또는 허가서에 반영되며, APVMA는 이 단계에서 라벨 완화구간 산정의 유연성 증가와 비산 저감 기술 반영 확대를 제도의 장점으로 제시하고 있다.

한편 Stage 2에서는 비산 관리 도구(Spray Drift Management Tool, SDMT)를 활용하여 사용자가 자신의 장비 특성, 살포량, 기상 조건 등 실제 현장 조건을 입력함으로써 완화구간을 재산정할 수 있다. 이는 승인된 라벨 조건보다 더 적극적으로 비산 저감 기술을 적용하는 경우 완화구간 추가 감축 가능성을 모색하기 위한 단계로 이해된다. 다만 SDMT의 적용 범위와 일반화 수준은 제도 운영 단계 및 허가 체계에 따라 달라질 수 있다.

예를 들어 헬리콥터를 이용하여 초지에 최대 허용 살포량 4 L ha<sup>-1</sup> 조건으로 농약을 살포하고, 살포 고도를 지면으로부터 최대 5 m까지 증가시키며 EXTREMELY COARSE 등급 입자를 생성하는 노출을 적용한 사례에서, SDMT 적용 결과 수생태계에 대한 의무 완화구간은 65 m에서 64 m로 소폭 감소하였고, 비표적 식생에 대한 권고 완화구간은 210 m에서 126 m로 축소된 바 있다. 이는 저감 기술과 조건 조합에 따라 완화구간이 조정될 수 있음을 보여준다(APVMA, 2019). Table 2는 상기 조건을 적용한 SDMT 산정 결과를 정리한 것으로, 동일한 살포 조건에서도 민감 구역 유형에 따라 의무 및 권고 완화구간이 상이하게 도출됨을 보여준다. 또한 입경 등급과 살포 고도와 같은 운용 조건이 완화구간 산정에 직접적인 영향을 미친다는 점을 확인할 수 있다.

차단식물은 APVMA 가이드라인에서 완화구간 감축을 위한 공식 산정 요소로 명시되지는 않으나, 현장 가이드 및 교육 자료에서는



**Fig. 2.** Two-stage spray drift management framework integrating SDRAT and SDMT under the APVMA regulatory system: Schematic overview of the two-stage spray drift management framework used by the Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority (APVMA), integrating the Spray Drift Risk Assessment Tool (SDRAT) and the Spray Drift Management Tool (SDMT) for setting label buffer zones. <Source: Extracted from the Spray Drift Risk Assessment Manual (2017) and modified by the authors.>

**Table 2.** Example of buffer zone reduction under the APVMA spray drift management framework: Buffer distances are compared between the current framework, the on-label Spray Drift Risk Assessment Tool (SDRAT), and the applied Spray Drift Management Tool (SDMT) under specified application conditions (EXTREMELY COARSE droplet size, release height ≤ 5 m, wind speed ≤ 20 km hr<sup>-1</sup>).

- A minimum droplet size of EXTREMELY COARSE
- The release height is not greater than 5 m above the ground
- The wind speed is not greater than 20 km hr<sup>-1</sup>
- Minimum distances between the application site and downwind sensitive areas that appear in the ‘Mandatory buffer zones’ section of the table below.

| Scenario                            | Buffer zone (m)                       |                |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
|                                     | Natural aquatic (m)                   | Vegetation (m) |
| Application rate                    | Up to maximum of 4 L ha <sup>-1</sup> |                |
| Current framework                   | 90                                    | 500            |
| Proposed framework-on label (SDRAT) | 65                                    | 210            |
| Applied SDMT                        | 64                                    | 126            |

<Source: Extracted from the Spray Drift Risk Assessment Manual (2018) and modified by the authors.>

비산 저감을 위한 보조적 수단으로 언급된다. 이는 호주 비산 관리 체계가 기본적으로 라벨 조건과 기상·운영 제약을 통해 위험을 사전에 통제하는 데 중점을 두되, 2019년 이후에는 비산 저감 기술 인정 및 단계적 접근을 통해 완화구간 산정의 유연성을 점진적으로 확대하고 있음을 시사한다.

### 국외 비산 저감을 위한 완화구간 및 차단 식물 적용 지침 비교 및 국내 적용을 위한 시사점

#### 국외 관리지침 비교 분석

본 연구에서 분석한 미국(EPA), 유럽연합(EU), 호주(APVMA)의

농약 비산 관리 체계는 공통적으로 완화구간을 핵심 관리 수단으로 활용하고 있으나, 제도의 목표, 관리 관점, 저감 기술을 제도에 통합하는 방식에서 뚜렷한 차이를 보였다. Table 3은 항공 살포 운영 정도, 규제 체계화, 완화구간 및 차단식물 운영 가이드를 기준으로 각국의 차이를 요약하였다. 세 국가 모두 항공 살포에는 다소 보수적이나 이는 농업 환경과 재배 작물의 차이로 인한 것으로 판단된다. 규제의 체계화 정도는 법·제도의 통합 수준과 위험 평가 체계의 구조화 정도, 현장 수행력을 판단할 수 있는 라벨의 법적 구속력 여부를 정성적으로 평가하여 등급화하였다.

미국 EPA 체계는 연방 법령과 BLT, mitigation menu, 비산 저감 기술 등급체계가 통합적으로 운영되며, 온라인 시스템과 라벨의 명시 내용이 동기화 되어 제도의 통합도가 매우 높은 것으로 평가

**Table 3.** Comparison of aerial pesticide application expansion and spray-drift management frameworks across major countries: Comparison of drone application scale and spray drift management approaches across major regulatory frameworks

| Region / Country    | Scale of drone application | Level of drift regulation institutionalization | Buffer-zone establishment and operation  | Vegetative barrier guidance   | Regulatory / technical focus   |
|---------------------|----------------------------|--|--|---|--|
| United States (EPA) | Moderate                   | Very high                                      | Baseline buffer zones established; reductions allowed when mitigation measures are implemented | Used as one of the mitigation options for buffer-zone reduction                   | Risk-based regulation and mitigation-oriented incentive structure            |
| European Union (EU) | Low–moderate               | High   | Buffer zones adjusted according to risk assessment   | Considered as supplementary measures; reflected in pilot and experimental studies | Quantitative risk assessment; protection of aquatic and non-target organisms |
| Australia (APVMA)   | Low                        | Moderate                                       | Fixed buffer zones specified on product labels   | Not officially recognized as mitigation measures                                  | Regulation focused on application conditions                                 |

하였다. 완화구간 설정은 위험 평가를 통해 기본 완화구간을 설정한 후, 과학적 근거를 갖춘 저감 기술의 도입 수준에 따라 완화구간을 단계적으로 감축하는 인센티브 기반 규제 구조를 특징으로 한다. 이는 저감 기술 도입을 제도적으로 유도한다는 점에서 정책적 유연성과 확장성을 갖지만, 표준화된 감축 계수가 다양한 기상 조건과 작물 구조를 충분히 반영하지 못할 경우 실제 저감 효과와 제도상 인정 효과 간의 차이가 발생할 가능성을 내포한다.

EU의 비산 관리 체계는 완화구간 자체를 고정된 규제 값으로 설정하기보다는, FOCUS 모델과 ISO 표준 측정 체계를 중심으로 한 정량적 위험 평가 체계와 회원국별 실행 구조를 통해 비산 위험을 관리하는 평가-거버넌스 중심 접근으로 요약된다. 이 체계는 다층 구조를 갖지만 정량적 평가 기반이 강하고, 상위 법체계인 SUD와 정책적으로 연계되어 운영된다는 점에서 비산 관리의 제도화 수준이 높은 것으로 평가된다. 또한 EU 체계에서 완화구간은 위험 평가 결과에 따라 도출되는 관리 수단이며, 장비 성능이나 운영 조건에 따라 조정 가능한 변수로 기능한다. 특히 차단식물에 대한 현장 실증 연구의 축적은 비산 저감 기술을 공학적 설계 요소로 발전시키는 데 기여하고 있다.

호주는 제품 등록 단계에서 확정된 라벨 조건을 중심으로 완화구간과 살포 조건을 엄격히 준수하도록 하는 라벨 기반 통제 모델을 채택하고 있다. 2019년 이후 단계적 접근을 통해 비산 저감 기술 반영 범위와 산정의 유연성이 확대되었으나, 기본적으로는 명확한 라벨 조건과 기상·운영 제약을 통해 위험을 사전에 통제하는 구조가 중심을 이룬다. 이는 현장 집행 가능성과 규제 명확성 측면에서는 강점을 가지지만, 저감 기술 도입 수준에 따라 완화구간을 차등 조정하는 자발적 참여 유인 관리 구조와는 차이를 보인다.

완화구간과 차단식물의 제도적 위치를 비교하면, 미국과 EU에서는 완화구간이 기술 적용 수준에 따라 조정 가능한 관리 변수로 기능하는 반면, 호주에서는 라벨에 명시되어야 할 준수 조건으로서의 성격이 보다 강하다. 차단식물은 세 국가 모두에서 완화구간을 대체하는 독립적 규제 수단이라기보다는, 완화구간 감축 또는 비표적 노출 저감을 보조하는 기술적 요소로 정의된다. 특히 EU의 실증 연구는 차단식물의 높이, 밀도, 광학적 다공도 등 구조적 특성이 비산 저감 효과에 직접적인 영향을 미침을 보여주며, 이는 차단식물이

단순 경관 요소를 넘어 정량적 설계 기준을 요구하는 기술임을 시사한다.

**국내 적용을 위한 시사점**

국내 농업 환경은 논·밭이 혼재하고, 친환경 농경지와 관행 농경지가 인접 배치되는 경우가 빈번하며, 과수원·시설재배지와 일반 경작지의 공간적 경계가 명확하지 않은 구조적 특성을 갖는다. 또한 드론으로 대표되는 무인항공기 기반 농약 살포의 비중이 빠르게 확대되고 있다는 점은 국내 농업의 중요한 변화 양상으로, 항공 살포에 따른 비산 관리의 필요성을 더욱 증대시키는 요인이다. 이러한 여건을 고려할 때, 항공 살포 비산 관리 체도를 설계함에 있어 특정 국가의 체계를 그대로 차용하는 방식은 국내의 공간 구조와 영농 형태, 기술 확산 속도를 충분히 반영하지 못할 가능성이 있다.

이에 따라 국외 주요 국가의 제도적·기술적 요소를 선별적으로 결합한 혼합형 비산 관리 프레임워크를 구축하는 것이 합리적이다. 우선 적용 시기 측면에서 단기적으로는 규제의 명확성 확보와 현장 준수 의무 강화를 목표로, 제품 라벨 기반의 살포 조건 및 기상 제약을 구체적으로 명시하고 이를 법제화하는 방안을 고려할 수 있다. 이는 호주 APVMA의 Operating Principles 및 라벨 중심 관리 방식을 참고하여 국내 실정에 맞게 설계할 수 있을 것이다. 중장기적으로는 미국 EPA 체계와 같이 저감 기술 도입 수준에 따라 완화구간을 조정하는 유인 구조를 도입하되, EU에서 축적된 정량적 위험평가 체계와 차단식물의 실증 연구 결과를 반영하여 국내 농업 환경에 적합한 감축 계수와 설계 기준을 단계적으로 정립할 필요가 있다.

기술적 측면에서는 노즐 특성, 약제 물성, 살포 장치 구조 등 비산에 영향을 미치는 요소에 대해 저감 효과를 정량적으로 평가하고, 일정 수준 이상의 저감 성능을 갖는 기술에 대해 등급을 부여하는 체계가 마련되어야 한다. 이러한 평가는 EU의 FOCUS 모델 및 ISO 22866과 같은 표준화된 측정·평가 체계를 기반으로 하되, 멀티콥터 기반 항공 살포에서 나타나는 하행기류, 비행 고도, 전진 속도 등의 물리적 특성을 반영하여 보완·확장하는 방향으로 구성될 필요가 있다.

완화구간과 차단식물의 도입 형태에 있어서는 두 수단을 독립적으로 병렬 적용하기보다는, 완화구간을 기본 보호 수단으로 유지하

면서 국내의 협소한 경계 구조를 고려해 차단식물의 활용을 활성화 하는 통합적 전략이 요구된다. 특히 농경지 경계가 좁아 충분한 완화구간 확보가 어려운 경우, 차단식물의 높이·폭·밀도 등 구조적 특성에 따른 비산 저감 효과를 정량적으로 인정하는 방식으로 제도를 설계함으로써, 공간적 제약을 보완할 수 있다. 이는 완화구간의 최소 안전 기준을 유지하면서도 실제 경관 요소를 활용하여 친환경 농지와 관행 농지 간의 공간적 충돌을 완화하는 현실적 대안이 될 수 있다.

종합하면, 국내 비산 관리 제도는 위험 기반 평가 체계, 기술 도입에 대한 유인 구조, 라벨 중심의 명확한 운영 조건 제시라는 세 축을 단계적으로 통합하는 방향으로 설계될 필요가 있다. 이를 위해 멀티콥터 기반 살포 특성을 반영한 국내 실증 자료의 축적과 감측 계수의 과학적 검증이 선행되어야 하며, 단기·중장기 정책을 구분한 단계적 도입과 파일럿 사업을 통한 현장 검증이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구는 무인항공기 기반 농약 살포 확산에 대응하기 위해 미국(EPA), 유럽연합(EU), 호주(APVMA)의 비산 관리 체계를 비교·분석하였다. 세 국가 모두 완화구간을 핵심 관리 수단으로 활용하고 있으나, 미국은 저감 기술 도입 수준에 따른 완화구간 조정이라는 유인 구조를, EU는 정량적 위험평가와 측정 기반 관리 체계를, 호주는 라벨 중심의 명확한 조건 관리 방식을 중심으로 상이한 운영 논리를 발전시켜 왔다. 이들 사례는 국내 제도 설계가 단일 모델의 모방이 아니라, 유인 기반 완화구간 조정 구조, 정량 평가 체계, 라벨 기반 조건 관리라는 요소를 전략적으로 결합하는 방향으로 이루어져야 함을 시사한다. 특히 공간적으로 복합적인 국내 농업 구조와 무인항공기 활용 확대 추세를 고려할 때, 완화구간과 차단식물을 통합적으로 운영하는 혼합형 비산 관리 프레임워크의 구축이 요구된다. 본 연구의 비교 분석 결과는 향후 국내 농약 비산 관리 가이드라인 마련과 단계적 제도 도입을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01505305)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## Author Information and Contributions

Jinseon Park, AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University, Research Professor, Conceptualization, Investigation, Writing-original draft preparation, Writing-review & editing, <https://orcid.org/0000-0002-6281-4910>

Se-Yeon Lee, Department of Rural and Bio-systems Engineering, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National

University, Graduate Students, Conceptualization, Investigation, Writing-review, <https://orcid.org/0009-0006-1131-5878>

Chae-rin Lee, Department of Rural and Bio-systems Engineering, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National University, Graduate Students, Investigation and Visualization, <https://orcid.org/0009-0001-2551-1515>

Ji-yeon Park, Department of Rural and Bio-systems Engineering, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National University, Graduate Students, Investigation and Visualization, <https://orcid.org/0009-0004-4940-7116>

Rial Arifin Rajagukguk, Department of Rural and Bio-systems Engineering, AgriBio Institute of Climate Change Management, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National University, Postdoctoral Researcher, Investigation and Validation, <https://orcid.org/0000-0002-3258-7307>

Hyun Ho Noh, Residual Agrochemical Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Doctor of philosophy, Writing-review & editing, <http://orcid.org/0000-0002-7568-8490>

Se-woon Hong, Department of Rural and Bio-systems Engineering, Education and Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture (BK21 four), Chonnam National University, Associate Professor, Conceptualization, Writing-original draft preparation, Writing-review & editing, <https://orcid.org/0000-0002-9647-5523>

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature Cited

- Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority (APVMA). 2018. Spray Drift Risk Assessment Manual: Stage 1. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority, Kingston, ACT, Australia.
- Chen, P, Douzals JP, Lan Y, Cotteux E, Delpuech X, Pouxviel G, Zhan Y, 2022. Characteristics of unmanned aerial spraying systems and related spray drift: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13:870956. doi.org/10.3389/fpls.2022.870956
- European Commission. 2009a. Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning

- the placing of plant protection products on the market. Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium.
- European Commission. 2009b. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2014. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. EFSA Journal, 12(10):3874. doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3874
- European Food Safety Authority (EFSA). 2025. The need for advanced spray drift models in EU regulatory risk assessment. EFSA Supporting Publications
- European Parliament, Directorate-General for Parliamentary Research Services. 2018. Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides. European Union, Brussels, Belgium. doi.org/10.2861/78
- Furiosi M, Triachini S, Beone GM, Fontanella MC, Gaaied S, Arbi G, Lomadze A, Grella M, Mozzanini E, Dicembrini E, et al., 2025. Aerial Spray Application of Plant Protection Products for Grapevine Downy Mildew Control: Efficacy and Canopy Deposit Evaluation in Semi-Field Trials. *Agronomy*. 15(12):2703. doi.org/10.3390/agronomy15122703
- Grains Research & Development Corporation, 2021, Regulatory changes for buffer zones — what's changing and why?, Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority, Kingston, ACT, Australia.
- Hancock J, Bischof M, Coffey T, Drennan M, 2019. The Effectiveness of Riparian Hedgerows at Intercepting Drift from Aerial Pesticide Application. *J. Environ. Qual.* 48:1481-1488. doi:10.2134/jeq2018.12.0447
- International Organization for Standardization (ISO). 2005. ISO 22866: Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift. ISO, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (ISO). 2019. ISO 22369-1: Crop protection equipment — Drift classification of spraying equipment — Part 1: Classes. International Organization for Standardization. ISO, Geneva, Switzerland.
- Kang HR, Park YB, Do SY, Jeong JA, Lee SB, Cho SH, Lee HK, Son JH, Lee MK, Lee BH, Park JH, Yoon MH, 2018. A safety survey on pesticide residues in tropical fruits depending on implementation of the positive list system. *J. Food Hyg. Saf.*, 33(4):310-315. doi.org/10.13103/JFHS.2018.33.4.310 (In Korean)
- Kjær C, Brask M, Bogetoft R, Larsen P, Andersen HV, Nielsen D, Løkke SE, 2014. Pesticide drift deposition in hedgerows from multiple spray swaths. *J. Pestic. Sci.*, 39:14-21. doi.org/10.1584/jpestics.D12-045
- Lazzaro L, Otto S, Zanin G, 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 123(1-3):317-327. doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.009
- Lee SY, Park JS, Lee CR, Daniel KF, Park JY, Yu SH, Lee CG, Hong SW, 2024. A spray drift curve model for pesticide drift prediction during drone spraying applications for field crops. *Agric. and Environ. Sci.*, 43:336-347. doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.32 (In Korean)
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2023. Enforcement Rule of the Act on the Promotion of Environmentally Friendly Agriculture and the Management and Support of Organic Foods (Annex 4). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Republic of Korea.
- Nuyttens D, De Schampheleire M, Baetens K, Sonck B, 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *Transactions of the ASABE*, 50(4):1129-1140. doi.org/10.13031/2013.23622
- Otto S, Loddo D, Baldoin C, Zanin G, 2015. Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. *J. Environ. Manage.*, 162:290-298. doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.060
- Park JS, Lee SY, Choi LY, Jeong HN, Noh HH, Yu SH, Song HS, Hong SW, 2021. Analyzing drift patterns of spray booms with different nozzle types and working pressures in a wind tunnel. *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, 63(5):39-49. doi.org/10.5389/KSAE.2021.63.5.039 (In Korean)
- Park JS, Lee SY, Choi LY, Hong SW, 2023a. Analysis of effect on pesticide drift reduction of prevention plants using a spray drift tunnel. *J. Bio-Env. Con.*, 32(2):106-114. doi.org/10.12791/KSBEC.2023.32.2.106 (In Korean)
- Park JS, Lee SY, Choi LY, Daniel KF, Hong SW, 2023b. Establishing and operating a test bench for assessment of pesticide drift by aerial application. *J. Bio-Env. Con.*, 32(4):423-432. doi.org/10.12791/KSBEC.2023.32.4.423 (In Korean)
- Ucar T, Hall FR, 2001. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: A review. *Pest Manag. Sci.*, 57:663-675. doi.org/10.1002/ps.341
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2013. Endangered Species Protection Program: Interim Measures. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2015. Pyrethroid labeling for spray drift mitigation. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2025a. Enforceable use limitations and pesticide labeling. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2025b. Insecticide strategy (final) to reduce exposure of federally listed endangered and threatened species and designated critical habitats from the use of conventional agricultural insecticides. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2025c. Mitigation menu: Ecological spray drift buffer reduction options. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Wang C, Herbst A, Zeng A, Song W, Qiao B, Qi P, Bonds J,

Overbeck V, Yang Y, Gao W, He X, 2021. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned

aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. Sci. Total Environ., 777:146181. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181

## 무인항공기 기반 농약 살포 확산에 따른 비산 저감 관리체계의 해외 사례 분석과 국내 적용 방안

박진선<sup>1</sup> · 이세연<sup>2</sup> · 이채린<sup>2</sup> · 박지연<sup>2</sup> · Rial Arifin Rajagukguk<sup>3</sup> · 노현호<sup>4</sup> · 홍세운<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소,

<sup>2</sup>전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21(4단계) 기후지능형 간척지 농업교육연구팀,

<sup>3</sup>전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과, <sup>4</sup>국립농업과학원 잔류화학평가과

**요약** 본 연구는 무인항공기 기반 농약 방제 확산에 따라 중요성이 커지고 있는 농약 비산 관리 문제를 대상으로, 미국(EPA), 유럽연합(EU), 호주(APVMA)의 주요 비산 저감 가이드라인을 체계적으로 분석하였다. 그 결과, 세 국가 모두 완화구간을 비산 관리의 핵심 수단으로 활용하고 있었으나, 미국은 저감기술 도입에 따라 완화구간을 조정하는 유인형 구조, EU는 정량적 위험평가와 현장 실증을 중심으로 한 평가형 구조, 호주는 라벨에 명시된 살포 조건과 완화구간 준수를 강조하는 통제형 구조를 보였다. 이러한 해외 사례는 효과적인 비산 관리가 단일 규제 수단이 아니라, 기본 완화구간 설정, 과학적 근거에 기반한 저감 기술 인정, 명확한 살포 조건 제시가 상호 보완적으로 결합될 때 가능함을 보여준다. 특히 완화구간은 공통적인 최소 보호 수단으로 기능하며, 차단식물과 같은 공간적 저감기술은 이를 대체하기보다 추가적으로 보완하는 수단으로 활용된다. 본 연구는 해외 가이드라인의 구조와 운영 논리를 비교·정리함으로써 국내 비산 관리 제도 설계를 위한 기초 자료를 제공한다. 향후에는 완화구간과 차단식물의 도입 효과를 항공 살포 조건에서 정량적으로 검증하는 현장 기반 파일럿 실험이 필요하다.

**주제어:** 항공살포, 완화구간, 살포규제, 농약비산, 차단식물