

# 사과원 농약 살포 약량 감소를 위한 방제 개선 방안 연구

전종훈\* / 경북대학교 원예학과 박사과정

신배연 / 경북대학교 원예학과 석사

신 승 / 송스팜 사과농원 대표

## I. 연구 필요성

2022년 기준, 사과는 국내 과수 재배 면적 158,830ha 중 34,603ha로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 생산량은 감귤에 이어 약 56만 t인 국내 주요 과수 중 하나이다(KOSIS, 2023). 우리나라 사과 재배 체계는 1996년에 수행된 '신 경북형 사과 생산 체계 개발 연구'와 '사과 고밀식 왜화 재배용 수형 개발 연구'를 기반으로 M.9 왜성 대목 도입과 세장방추형 밀식재배 체계로의 전환이 이루어졌다. 이러한 변화는 국내 사과 농가가 고품질 사과를 생산하고 나무의 수고를 낮추는 중요한 계기가 되었다(윤태명, 2001; 사공동훈, 2007). 현재 약 70%의 과원이 열간 4m, 주간 2m의 세장방추형으로 보편화되어 있다(권혜영 등, 2017). 이후, 기존 밀식재배 체계의 장점을 극대화하고 단점을 보완하기 위해 키큰세장방추형, 다축형 등의 새로운 밀식재배 체계가 연구·개발되었으며, 이를 통해 선진적인 사과 재배 환경이 구축되고 있다(사공동훈, 2007; Robinson 등, 2006; Dorigoni, 2016) <그림 1-1>.

\* 전종훈(whdgns227@knu.ac.kr): 과수재배학 전공으로 박사과정을 수행하고 있다. 국내 사과원을 개선할 수 있는 주제 중 방제에 많은 관심이 있다.

〈그림 1-1〉 국내 사과 재배 체계의 변화



이러한 사과 재배 체계의 발전에도 불구하고, 이순원 등(2007)과 권혜영 등(2017)의 조사에 따르면, 2007년부터 2017년 동안 사과원의 농약 살포량은 평균 2,500-4,000L/ha로 크게 변하지 않았으며, 전종훈(2024c)의 연구에서도 살포 약량의 변화가 거의 없었다. 다시 말해, 국내 사과원의 수관과 수폭이 좁아지고 수고가 낮아짐에 따라 농약 살포 방법 및 살포 약량이 조정되어야 하지만, 대부분의 농가는 여전히 예전과 동일한 방식을 사용하고 있다. 이는 많은 농가가 적은 양으로도 충분히 방제할 수 있음에도 불구하고, 불필요하게 과도한 약제를 살포하고 있음을 의미한다(전종훈, 2024b).

일반적으로 농약은 작업자의 건강을 위협하고, 농산물의 안전성을 해치며, 생산비를 증가시키는 문제가 있다(Calumpang, 1996). 또한, 농약은 살포 시 20-55%만 작물에 부착되고, 나머지는 비산되거나 땅으로 스며들어 환경오염과 생태계 교란을 일으킨다(Law and Cooper, 1998).

해외 농업 선진국들은 이러한 문제를 오래전부터 인식하여 1980년대부터 노즐 배치를 수직으로 설계한 타워형 방제기를 도입해왔다(Fox, 2006). 타워형 방제기는 방사형 방제기와 비교하여 수관 내에 균일한 농약 분포를 형성하며(Quanshun 등, 2020), 비산을 효과적으로 줄여 과원에 적절한 약량을 살포하고 농약 낭비를 줄이는 데 효과적이라고 평가된다(Blanco 등, 2019; Kasner 등, 2020). 이러한 이유로 해외에서는 밀식 사과원에서 타워형 방제기 도입을 권장하며(Bruce, 2020), 살포 약량을 조정하는 중요한 방안으로 사용되고 있다.

그러나 국내에서 노즐 배치를 조정한 연구는 윤태영(2020)이 붐(boom)형으로,

전종훈(2024b)이 타워형 방제기로 한 현장 검정 연구로 한정된다. 특히 전종훈(2024b)의 연구는 국내 사과원에서 타워형 방제기의 도입 가능성을 평가한 기초 연구로 볼 수 있으나, 방제 효과에 대한 생물학적 평가 등 추가적인 연구가 필요하다는 결론이 도출되었다. 또한 최근 일부 농가에서는 해외에서 타워형 방제기를 수입하거나, 국내 방제기의 노즐 배치를 수직으로 변경하는 사례가 증가하고 있어 이에 대한 올바른 사용법과 정보 제공이 필요하다. 하지만 현재 국내에는 타워형 방제기에 대한 기초 자료가 거의 없으며, 이로 인해 기존 방제기와 동일한 약량 및 운용 방식을 답습하는 문제점이 발생하고 있다.

따라서 본 연구는 국내 사과원의 일반적인 재배 체계이자 수형인 세장방추형 밀식 과원을 중심으로 살포 약량을 줄이는 방안을 제시하고, 수직형(타워형) 노즐 배치의 방제기를 활용하여 국내 과원에 맞는 효율적인 살포 약량과 방제 방법을 제시함으로써 선진적인 방제 개선방안을 마련하고자 한다.

## II. 연구방법 및 내용

### 1. 연구방법

#### 1.1. 선행연구 검토

##### 1.1.1. 살포 약량

과원 내 살포 약량은 현대 사과 재배 체계의 기본인 밀식 수형이 1980년대 초에 도입된 이후 많은 연구가 진행되었다. Sutton 등(1984)은 열을 부피로 계산하여 과원 내 전체 살포 약량을 계산하는 TRV(Tree Row Volume, 열간 살포 물량) 모델을 도입하였다. 그러나 이 모델은 RPM, 주행 속도 등 방제기 운용 방안에 대한 구체적인 제시가 부족했고, 이후 방제 운용에 관한 연구가 진행되면서 이를 기반으로 한 방제기 보정 지침 및 공식이 배포되었다(Andersen 등, 2010). 밀식재배 체계와

방제기 운용이 더욱 고도화됨에 따라 열간 내 잎 면적을 계산하는 LWA(Leaf Wall Area) 모델이 제시되었다(Koch, 2007). 이처럼 해외에서는 재배 체계에 맞춘 약량 계산 방식을 통해 농약 사용량을 줄이고 효율적인 방제가 이루어지고 있다.

국내에서는 TRV에서 착안한 LVS(Low Volume Spray, 저물량 살포법)와 LWA(Leaf Wall Area, 열간 내 잎 면적 계산) 모델을 활용한 연구가 진행되었다(한예훈, 2013; 김상수 등, 2017). 그러나 이러한 연구에도 불구하고, 권혜영 등(2017)이 국내 395곳의 사과 농가를 대상으로 실시한 설문조사에서는 50% 이상이 2,500-5,000L/ha의 농약 사용량을 보고하였으며, 이는 10년 동안 큰 변화가 없었다. 이처럼 사과 재배 체계는 1990년대 말부터 밀식재배 체계로 꾸준히 변화하였으나, 과원 내 농약 살포량의 최댓값과 평균값은 거의 바뀌지 않았으며, 이에 따른 현장 개선이 필요하다.

### 1.1.2. 방제기

현재 국내 사과 농가의 약 80%는 스피드스프레이어(Speed Sprayer, 이하 SS기)를 사용하고 있다(권혜영 등, 2017). SS기는 1950년대에 개발되어 높은 수고와 넓은 폭을 가진 과수에 적합하게 설계되었다. 그러나 밀식재배 체계 도입 이후 나무의 수폭과 높이가 작아짐에 따라 기존 SS기로 살포할 경우 농약의 일부만 작물에 부착되고, 나머지는 비산되거나 지면으로 흘러내려 환경오염과 생태계 교란 문제가 발생하게 되었다(Law and Cooper, 1988). 이에 따라 방제 대비 농약 효과 감소, 작업자 피해, 방제 비용 상승, 농산물 안전성 문제 등이 제기되었다(Calumpang, 1996). 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 방제기의 송풍 분포 등을 개선한 타워형 방제기가 개발되었다(Fox, 2008).

국내에서는 1990년대 후반부터 살포 약량 감소와 효율적 방제를 위해 노즐 분무 형태 개선 및 방제기 개량 연구가 진행되었다(강태경 등, 2004; 윤태영, 2020). 최근 국내 사과원에서는 타워형 방제기 도입과 노즐 개조에 관한 종합적 검증이 함께 이루어졌으며, 타워형 방제기를 사용할 경우 일반 방제기보다 살포 약량을 줄이면서도 효율적인 방제가 가능하다는 연구 결과가 보고되었다(전종훈, 2024b).

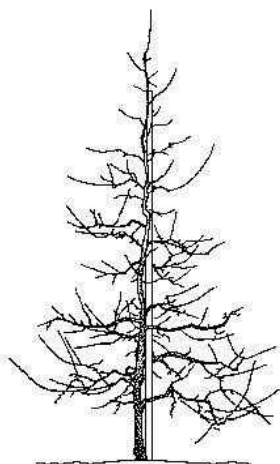
## 1.2. 재료 및 방법

본 실험은 경상북도 청송군 안덕면 복리 일대에서 진행하였으며, 실험 포장은 국내에서 일반적으로 사용하는 밀식재배 체계인 세장방추형 재배지이다 <그림 2-1>. 실험의 정확성을 높이기 위해 각 약량 처리구 내 식재된 나무 중 정상적이고 생육이 유사한 개체를 선발하였다.

### 1.2.1. 구획 및 약량 살포 조건

실험 포장은 총 3구획으로 구분하였으며, 저물량 처리구(가, 250L/10a), 완충지(나, 250L/10a), 고물량 처리구(다, 400L/10a)로 설정하였다 <표 2-1>. 저물량(250L/10a)은 한예훈(2013), 김상수 등(2017)의 연구와 농촌진흥청의 농약 인축독성 평가 기준서 및 전종훈(2024b)의 연구 사례를 참고하여 설정하였다. 고물량 처리구는 국내 농가의 평균 살포 약량인 4,000L/ha를 근거로 하여 400L/10a로 설정하였다(권혜영 등, 2017; 김상수 등, 2017; 전종훈, 2024b). 두 처리구 간의 간섭을 최소화하기 위해 완충지를 설정하였으며, 완충지의 약량은 저물량 처리구와 동일하게 지정하였다. 또한, 생육 시기 및 환경, 방제기 운용 조건(주행 속도, 엔진 RPM 등)에 따라  $\pm 50L$ 의 차이를 허용하였다.

<그림 2-1> 세장방추형



기본 형태 (왼쪽)

실험 포장 내 7월 평균 수형

자료: 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소, 연구진 촬영

〈표 2-1〉 실험 재배형태 및 처리 구획 설정

구분	내용
재배 형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재배 면적: 1.1ha</li> <li>- 재배 품종: 후지/M.9</li> <li>- 재식 연차: 10년</li> <li>- 주간 및 열간: 3.8 x 2.0m</li> <li>- 평균 수고 : 4.3m</li> <li>- 평균 수폭 : 2.3m</li> </ul>
구획 설정	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (가) 구역 : 저물(약)량(250±50L/10a)</li> <li>- (나) 구역 : 완충지(250±50L/10a)</li> <li>- (다) 구역 : 고물(약)량(400±50L/10a)</li> <li>- 반복: 3주 5반복, 단일구획법</li> </ul>

### 1.2.2. 공시 방제기

본 실험에 사용된 방제기는 2008년에 제작되었으며, 2022년에 타워형으로 분사 노즐 위치를 개조하였다 <표 2-2>.

본 개조 방제기의 특징은 기존 방제기에 높이 약 1.5m의 타워형 노즐 배치를 추가 하여, 기존 국내 방제기보다 약제를 더 높은 곳까지 분사할 수 있도록 설계되었다.

〈표 2-2〉 공시 방제기 사양

구분	내용
모델명	HSS-500WTLTD II (한서정공, 2008)
용량	500L
팬타입	축형
분사 형태	축형 및 타워형(modified)
노즐 형태 및 개수	Ø1.0, Ø1.2, Ø1.0(미세 노즐) / 총 21개

### 1.2.3. 살포 약량 설정

본 실험에서는 각 구역별로 살포 약량을 저약량 250L/10a, 고약량 400L/10a로 설정하였다. 그러나 방제를 효율적으로 수행하기 위해서는 몇 가지 요인들을 적절하게 조절할 필요가 있다. 예를 들어, 동일한 물량을 살포하더라도 주행 속도나 노즐의 종류에 따라 살포 결과에 차이가 발생할 수 있다. 특히 각 과원에서 사용 중인 방제기와 노즐 등의 부품 조건이 본 실험 과원과 다를 수 있기 때문에, 비슷한 결과를 얻기 위해서는 변수 요인을 최소화하는 것이 중요하다.

아래의 식은 유럽 및 미국 등 농업 선진국에서 과원 내 살포 약량을 계산하는 방식으로, 본 실험에서도 이 식을 참고하여 살포 약량과 방제 시 필요한 요인들의 조건을 설정하였다 [식 2-1].

[식 2-1] 과원 내 살포 약량 설정식

$$\text{살포 약량(L/ha)} = \frac{\text{1분당노즐분사량(L/min)} \times \text{상수(600)} \times \text{개방노즐(openpieces)}}{\text{열간거리(m)} \times \text{주행속도(km/h)}}$$

상대적으로 많은 변수를 고려해야 하는 살포 약량 계산 방식은 국내에서는 아직 드물게 사용되고 있지만, 본 실험은 단순한 약량 비교를 넘어 국내 사과원의 효율적이고 정밀한 방제를 위한 기초 단계를 마련하고, 유사한 조건에서 다른 사과원에서도 활용할 수 있도록 이 식을 사용하였다.

따라서 본 실험에서는 이 식에 근거하여 방제기를 종합적으로 운용하였으며, 실험 중 바람의 영향을 최소화하기 위해 풍속이 2m/s 이하일 때 방제를 진행하였다.

### 1.2.4. 1분당 노즐 분사량 측정

1분당 노즐 분사량은 방제 시 노즐에서 1분당 살포되는 농약의 양을 의미한다. 본 실험에서는 노즐과 분사 용량을 측정할 수 있는 통을 실리콘 호스(25mm x 31mm)로 연결하여, RPM 변화에 따라 방제기 내부 게이지에 표기되는 분사 압력을 기준으로 1분당 노즐 분사량을 측정하였다. 이때 사용된 노즐은 방제기에 부착

〈그림 2-2〉 공시 방제기 노즐 분사량 측정



된  $\text{Ø}1.0$ ,  $\text{Ø}1.2$ ,  $\text{Ø}1.0$ (미세 노즐)이며, 각 노즐은 3회씩 측정한 후 평균값을 도출하였다. RPM은 물량에 따라 1,500RPM과 2,000RPM으로 설정하였다.

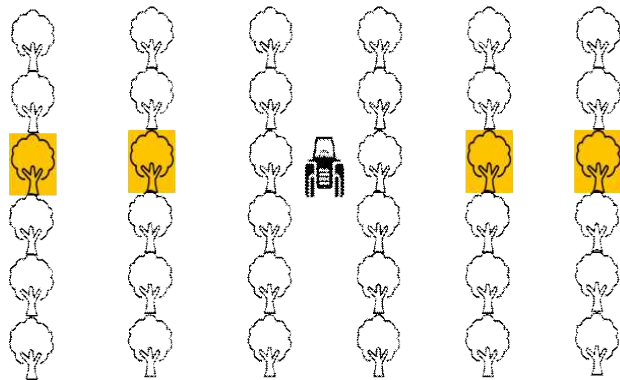
1,500RPM은 전종훈(2024b)의 연구에서 유사한 밀식 과원에서 방제를 진행한 결과 가장 적정한 RPM으로 판단되어 본 실험의 저약량 기준인 250L/10a에 적용되었다. 2,000RPM은 현재 국내에서 일반적으로 사용되는 RPM이며, 고약량 기준인 400L/10a에 적용하였다. 따라서 두 가지 RPM을 기준으로 1분당 노즐 분사량을 측정하였다 〈그림 2-2〉.

#### 1.2.5. 농약 비산 측정

본 과원의 형태에 적절한 RPM을 확인하기 위해 각 살포 약량에 따른 RPM별 농약의 비산 정도를 조사하였다. 현재 국내 사과원에서는 2,000RPM을 기준으로 평균 약량 450L/10a를 살포하고 있다. 그러나 전종훈(2024b)의 실험에서 2,000RPM으로 500L/10a를 살포한 결과, 농약이 과다하게 묻거나 방제 효율이 저하되는 특성이 나타났다. 이에 엔진 회전수를 1,500RPM으로 줄여도 충분한 방제가 가능할 것으로 판단되었다. 본 실험에서는 감수지를 이용하여 각 살포 약량에 따른 RPM을 비교하였다. 감수지는 물에 민감하여 농약 등 분무 품질을 분석하는데 사용된다(Lu 등, 2024).

규격 76mm x 52mm의 감수지(Syngenta, Basel, Switzerland)를 5m 높이의 폴대에 1m 간격으로 부착하였으며, 방제를 진행한 열의 양쪽으로 각각 8m, 16m, 24m 떨어진 위치에 설치하였다. 방제는 동일한 저속 2단 주행 속도로 진행하여 RPM에 따른 차이를 비교하였다 〈그림 2-3〉.

〈그림 2-3〉 비산 측정 막대 설치



막대 위치(주황색)



설치 모습

감수지는 방제가 완료된 후 완전히 마른 상태에서 수거하여, 피복률(%) 계산 프로그램을 통해 원래 노란색의 감수지가 파랗게 변한 정도를 분석하였다. 이를 통해 각 거리에서 폴대에 설치된 감수지를 비교 분석하여, 살포 약량에 따른 RPM별 농약의 비산 거리를 중점적으로 평가하였다. 〈그림 2-4〉는 비산 실험 후 피복된 감수지를 나타낸다.

〈그림 2-4〉 피복된 감수지

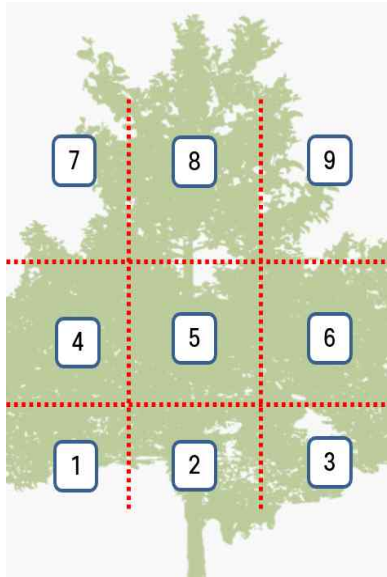


### 1.2.6. 수관 내 적정 살포 약량 측정

이번 실험에서 설정한 저약량(250L/10a)과 고약량(400L/10a) 중 적정한 살포 약량을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 이를 위해 살포 약량에 따른 잎의 앞면과 뒷면의 약제 피복률(%)을 측정하는 실험을 설계하였다.

조사대상 나무는 총 9등분하여 각 구역의 잎 앞면과 뒷면에 감수지를 부착하였다

〈그림 2-5〉 감수지 부착



〈그림 2-5〉. 이후 두 가지 살포 약량 조건에서 방제기를 운행하였고, 비산 실험과 동일한 방식으로 감수지의 색 변형을 분석하여 피복률을 계산하였다.

적정 살포 약량에 대한 피복률은 앞선 연구 결과들을 참고하여 설정하였다. 먼저, 이순원 등(1999)은 사과 점박이응애 방제 시 감수지 피복률이 75% 이상일 때 방제가 가능하다고 하였다. 반면, 해외 연구에서는 Mangado 등(2013)이 감수지 피복률이 20-50% 정도면 충분하다고 보고하였으며, Deveau(2015)는 노즐의 구경에 따라 차이가 있을 수 있으나, 감수지 전체 면적의 15%만 피복되어도 방제가 가능하다고 분석하였다.

이는 국가마다 주요 병해충방제 방법 및 약제 농도에 차이가 있기 때문으로 해석된다.

따라서 본 방제 실험에서는 이러한 연구 결과를 종합적으로 고려하여, 피복률 75%를 적정 방제 기준으로 설정하고 실험을 진행하였다.

### 1.2.7. 공시 약제

약량 살포 시 정확한 방제 효과를 확인하기 위해 과원의 협조를 받아 병과 해충을 별도로 구분하여 방제를 진행하였다. 병 방제는 경북대학교 엄재열 명예교수와 경북대학교 사과연구소에서 제시한 방제 체계를 기준으로 실시하였으며, 해충방제는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소와 경북대학교 사과연구소에서 제시한 해충방제 지침을 바탕으로 진행하였다. 〈표 2-3〉은 2023년 본 실험 과원에서 해충방제 목적으로 사용된 약제를 나타낸다.

본 과원에서는 살비제를 포함한 총 21회의 살충제 살포가 이루어졌으며, 특히 이번 실험에서는 응애를 주요 관찰 해충으로 지정하여 결과를 정리하였다.

〈표 2-3〉 본 과원에서 사용한 해충방제력

날짜	대상해충	유효성분
3/14	사과응애	machine oil
4/13	복숭아순나방, 사과응애, 사과혹진딧물, 점박이응애, 조팝나무진딧물	abamectin, acetamiprid
4/27	사과혹진딧물, 조팝나무진딧물, 애무늬고리장님노린재	pyrifluquinazon
	사과굴나방, 매미나방, 복숭아순나방	novaluron
5/ 8	복숭아순나방, 사과혹진딧물, 조팝나무진딧물	methoxyfenozide, sulfoxaflor
5/20	복숭아순나방, 갈색날개매미충	bifenthrin, novaluron
5/31	사과혹진딧물, 조팝나무진딧물, 사과면충	acetamiprid
	사과응애, 점박이응애	spiromesifen
6/10	사과혹진딧물, 조팝나무진딧물, 갈색날개매미충, 사과면충, 석류가루이	sulfoxaflor
	사과굴나방, 복숭아순나방	chlorantraniliprole
6/16	잎말이나방, 노린재류, 복숭아순나방	bifenthrin
6/20	사과혹진딧물, 조팝나무진딧물, 사과면충	flonicamid
	복숭아순나방	emamectin, benzoatelufenuron
7/ 1	사과굴나방, 복숭아심식나방, 잎말이나방	indoxacarb, teflubenzuron
7/ 9	복숭아순나방, 사과굴나방, 톱다리개미허리노린재	chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrin
7/17	사과굴나방, 복숭아순나방, 석류가루이	cyantraniliprole
7/21	복숭아순나방	emamectin benzoate, lufenuron
	응애, 사과유리나방	abamectin
7/28	사과굴나방, 복숭아순나방	chlorantraniliprole
8/ 7	노린재류, 진딧물, 복숭아심식나방, 갈색날개매미충	dinotefuran
	사과응애, 점박이응애	propargite
8/14	복숭아순나방, 사과혹진딧물, 조팝나무진딧물	abamectin, acetamiprid
8/22	갈색날개매미충, 사과면충, 애모무늬잎말이나방, 오리나무좀	dichlorvos, Lambda-cyhalothrin
9/ 2	복숭아순나방, 갈색날개매미충	bifenthrin, novaluron
9/13	복숭아순나방, 복숭아순나방붙이, 복숭아심식나방	Broflanilide
	잎말이나방, 노린재류, 복숭아순나방	bifenthrin
9/26	사과굴나방, 풀색노린재	diflubenzuron, etofenprox
10/11	사과굴나방, 매미나방, 복숭아순나방	novaluron

1.2.8. 응애류 생육 관찰

본 실험에서는 살포 약량에 따른 농약과 생물 간의 관계성을 확인하고, 적절한 실험 결과를 도출하기 위해 사과원에서 발생하는 응애류의 생육과 밀도를 관찰하였다. 특히, 응애류의 생육 관찰을 통해 약량별 응애 분포 밀도를 비교하고 방제 효과를 검증하였다. 응애 분포 밀도 조사는 농촌진흥청의 응애 예찰 방법을 참고하여 4월부터 9월까지 7일 간격으로 진행되었으며, 휴대용 현미경(루페)을 이용한 현장 예찰과 샘플링한 잎을 실체 현미경으로 분석하여 응애 분포 밀도를 파악하였다.

응애 분포 밀도는 잎에 분포하는 응애 개체 수를 조사하는 방식으로, 시기에 따른 응애 개체 수의 적정 여부를 관찰하였다. 특히, 샘플링한 잎 중 응애 분포 밀도가 높은 잎이 전체의 40-60%에 이르면 농가에 방제를 권고하였다.

<표 2-4> 사과원에서 발생하는 주요 응애류

구분	사과응애	점박이응애
학명	<i>Panonychus ulmi</i> Koch	<i>Tetranychus urticae</i> Koch
영명	European red mite	Two-spotted spider mite
피해	<ul style="list-style-type: none"> <li>5월부터 10월에 걸쳐 유충과 약충은 잎 뒷면에서, 성충은 주로 잎 앞면에서 흡즙</li> <li>황갈색으로 변색조기 낙엽 및 과실에도 영향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>잎의 엽록소와 수분을 흡즙</li> <li>피해 잎은 황갈색으로 변색</li> <li>수확 전 일부가 과실의 꽃받침 부위로 이동해 수출 시 문제</li> </ul>
생태	<ul style="list-style-type: none"> <li>알 상태로 작은 가지나 1-2년생 이상 가지의 눈 주위에서 월동</li> <li>개화기에 부화하여 6월 하순 이후 기온이 상승하며 7월 하순부터 발생 최성기</li> <li>밀도가 높아지면 어린 가지나 잎의 선단으로 이동해 몸에서 실을 내어 바람의 기류를 타고 근처 나무로 분산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>등황색의 암컷 성충이 월동형 성충으로 변화되어 9월 하순경부터 주간부의 거친 껍질 틈새나 지면의 낙엽 및 잡초에서 월동</li> <li>이른 봄 활동을 시작해 사과나무에서는 6월 상순부터 잡초에서 이동해 온 성충으로 인해 밀도가 증가</li> <li>8-9월에 최고 밀도에 이르며 11월까지도 높은 밀도를 유지</li> </ul>
방제	<ul style="list-style-type: none"> <li>발생 초기에 철저한 방제가 필요</li> <li>3월경 기계유제를 이용해 월동 응애를 방제하고 먹이 조건이 좋아지는 5월경 알이나 유충에 효과가 좋은 약제를 살포</li> <li>점박이응애보다 발생 최성기가 빠르므로 6월 초순부터 정기적으로 밀도 관찰</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발생 초기에 철저한 방제가 필요</li> <li>먹이 조건이 좋아지는 5월경 알이나 유충을 중심으로, 온도 조건이 좋아지는 7월 상순경 발생 밀도를 관찰하여 2차 방제 실시</li> <li>8월 상-중순 고온기에 마찬가지로 발생 밀도를 관찰하고 방제를 결정</li> </ul>

자료: 국가농작물병해충관리시스템(<https://ncpms.rda.go.kr>), 신젠타코리아(<https://www.syngenta.co.kr>)

### 1.2.9. 과실 품질 조사 및 잔류 농약 측정

살포 약량에 따른 과실 상태를 비교하기 위해 기초적인 과실 품질 조사를 실시하였다. 품질 조사는 사과의 단단함을 평가하는 경도와 맛을 평가하는 당도 및 산도를 측정하였다.

또한, 농약 사용에 따른 사과의 농약 안전성을 평가하기 위해 잔류 농약 검정을 실시하였으며, 경북 청송군 농산물품질관리센터에 의뢰하여 진행되었다. 잔류 농약 검정은 국립농산물품질관리원의 농약 허용 기준 강화 제도(PLS)를 기준으로 총 463종의 농약에 대해 검정이 이루어졌다.

### 1.2.10. 경제성 분석

본 실험의 경제성 분석은 물량별 방제 비용을 포함한 기타 과원 여건에 따른 차이를 분석하기 위해 실시하였다.

#### 가. 응애 방제 비용

물량별 응애 방제 시 방제 비용의 차이를 비교하기 위해 사용된 농약 값, 주유비, 방제기의 주행 속도에 따른 1ha당 주행 시간을 바탕으로 방제 비용을 계산하였다. 이를 통해 약량에 따른 방제기 운용 조건의 차이를 분석하였다.

#### 나. 과원별 방제법 비교

본 실험 과원 외에도 주변 다른 과원들의 조사를 통해 응애 방제와 관련한 1년간의 살포 약량, 시기, 주행 속도 등의 차이를 분석하였다.

### 1.2.11. 통계 분석

본 연구에서는 데이터의 정규성 가정이 충족되지 않거나 샘플 크기에 차이가 있을 경우 정확도를 높이기 위해 Welch의 t-검정(Welch's t-test)을 사용하였다(Zhenqiu 등, 2010). 이 통계적 방법은 두 독립 표본 간의 평균 차이를 비교할 때 표본 크기나 분산이 서로 다르더라도 적용할 수 있다. 분석 결과는  $p < 0.05$  수준에서 통계적으로 유의미한 결과를 나타냈으며, 이를 통해 본 연구의 통계적 분석의 정확성과 신뢰성을 높이고자 하였다.

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 살포 약량 계산

##### 1.1. 1분당 노즐 분사량 측정

본 실험에서 공시 방제기의 분사 압력을 기준으로 1분당 노즐 분사량을 측정한 결과 <표 3-1>, 먼저, 농가에서 사용하는 1.0 $\phi$  노즐의 경우, 분사 압력이 1.0-1.5MPa(10-15bar, 1,500RPM)일 때 분사량은 1.36L/min으로 나타났으며, 2.0MPa(20bar, 2,000RPM)에서는 1.82L/min을 기록하였다. 1.0 $\phi$  미세 노즐은 1.5MPa에서 2.13L/min, 2.0MPa에서는 2.69L/min을 나타냈다. 1.2 $\phi$  노즐은 1.0-1.5MPa에서 2.7L/min, 2.0MPa에서는 3.2L/min으로 확인되었다.

해외 수입 노즐인 'Albuz'와의 비교 결과, 농가에서 사용한 1.0 $\phi$  노즐은 해외 공시 자료의 0.8 $\phi$  노즐과 비슷한 분사량을 보였으며, 1.0 $\phi$  미세 노즐은 Albuz의 1.0 $\phi$  노즐과 유사한 성능을 나타냈다. 1.2 $\phi$  노즐도 비슷한 분사량을 기록하였으나, 상대적으로 약간 낮은 분사량이 확인되었다. 이처럼 동일한 구경의 노즐과 분사 압력 조건을 갖추더라도, 다양한 요인에 의해 분사량에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 각 과원에서는 공시 자료를 참고하는 것 외에도, 본 실험에서와 같이 1분당 분사량을 직접 확인하는 과정이 필요하다

본 실험에서는 분사 압력을 측정하기 위해 RPM을 달리하여 변화하는 분사 압력 계이저를 확인하였다. 1,500RPM에서는 1.0-1.5MPa에 해당하는 분사 압력이 도출되었으며, 2,000RPM에서는 2.0MPa에 상응하는 분사 압력이 확인되었다. 이 결과는 RPM에 따라 분사 압력이 단순히 비례적으로 증가하는 것처럼 보이지만, 이는 국내외 방제기 운용 설정의 차이에 기인한다. 해외에서는 생육 시기와 같은 조건에 맞춰 수동으로 분사 압력을 조절하는 것이 일반적이기 때문에, RPM이 증가해도 일정한 분사 압력으로 살포할 수 있다. 이보다 국내 방제기는 상대적으로 정밀한 조절이 어려우므로 과원에서 원하는 적정 살포 약량을 운용하는 데 차이가 있다.

〈표 3-1〉 해외 공시 노즐(Albuz)과 현 농가에서 사용 중인 노즐 1분당 분사량(L/min)

해외수입노즐				농가사용노즐			
분사압력 (MPa)	0.8∅	1.0∅	1.2∅	분사압력 (MPa)	1.0∅	1.0∅ (미세)	1.2∅
0.5	0.83	1.38	1.78	-	-	-	-
1.0	1.15	1.89	2.51	1.0-1.5 (1,500RPM)	1.36	2.13	2.7
1.5	1.39	2.27	3.06	≈2.0 (2,000RPM)	1.82	2.69	3.2
2.0	1.59	2.59	3.52	-	-	-	-
2.5	1.76	2.86	3.93	-	-	-	-

해외에서는 1분당 분사량을 공시하여 과원에서 참고할 수 있도록 하지만, 국내에서는 관련 정보에 대한 접근이 매우 제한적이다. 이에 일부 농가들은 해외 노즐을 직접 구매하고 정보를 공유하는 사례가 늘어나고 있다. 그러나 각 과원의 방제기 제작 연도, 관리 상태, 용량 등에 따라 공시된 분사량과 실제 분사량 간 차이가 발생할 수 있으므로 각 농가는 자체적으로 1분당 분사량을 확인하는 작업이 필요하다.

## 1.2. 약량에 따른 방제 운용 설정

앞서 1분당 노즐 분사량 실험과 [식 2-1]의 약량 살포 계산 방식을 이용한 예비 운용 실험 결과, 각 처리구획에서 설정된 저약량(250L/10a)과 고약량(400L/10a)에 맞춘 방제기 운용 설정은 〈표 3-2〉과 같이 정의되었다.

〈표 3-2〉 약량 별 방제 운용 설정

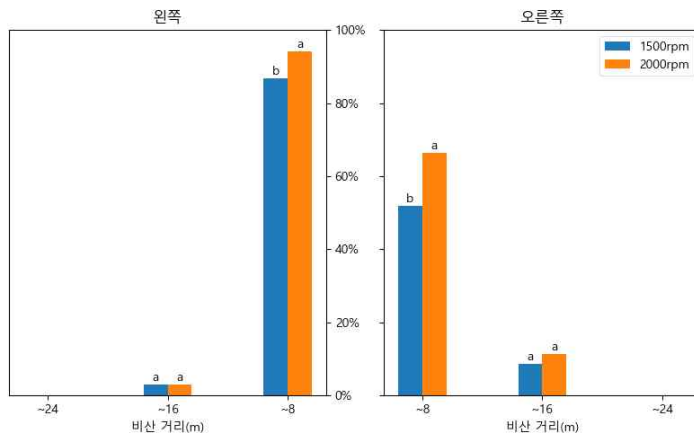
약량(L/10a)	RPM	분사압력	주행 속도	개방 노즐(개)
250	1,500	1.0-1.5	고속 1단 (2.2Km/h)	21
400	2,000	2.0	저속 1단 (1.2Km/h)	21

## 2. 약량 살포에 따른 분석

### 2.1. 비산 분석

농약 비산 분석 결과인 <그림 3-1>을 살펴보면, 먼저 1,500RPM(250L/10a)일 때, 8m 구간에서 왼쪽 열의 피복률이 86.9%였으며, 오른쪽 열에서는 51.8%를 기록하였다. 16m 구간에서는 왼쪽이 3.1%, 오른쪽이 8.7%였고, 24m 구간에서는 모든 열에서 0%를 나타냈다. 2,000RPM(400L/10a)일 때, 8m 구간에서 왼쪽 열의 피복률은 94.1%, 오른쪽은 66.3%를 기록하였다. 16m 구간에서는 왼쪽이 2.9%, 오른쪽이 11.4%를 보였으며, 24m 구간에서는 1,500RPM과 동일하게 0%를 기록하였다.

<그림 3-1> 농약 비산 거리 측정



주: 동일한 조건의 방향과 거리에서 측정된 두 물량의 비산 정도에 따른 감수지 피복률을 p-value<0.05을 기준으로 Welch's t-test로 평가. 이 그래프에서 a, b 표시는 집단 간 평균 비교 결과를 나타냄. 같은 문자는 유의미한 차이가 없음을, 서로 다른 문자는 유의미한 차이가 있음을 의미함.

두 약량에서 좌우 열 간의 차이를 살펴보면, 8m 구간에서 차이가 크게 나타났는데, 이는 기상 조건과 방제기 형태 등의 요인에 기인할 수 있다. 본 실험이 진행된 9월 12일 오전 11시에서 12시 사이의 평균 풍속은 0.6-0.8m/s로 서풍이 불어 실험에 미치는 영향은 매우 미미하였다. 그러나 전종훈(2024a)에 따르면, 본 실험에서 사용된 방제기와 국내에서 일반적으로 사용하는 축형(axial) 송풍 팬은 회전 방향에 따라 좌우 송풍 분포가 다르며, 이로 인해 분사된 약액이 송풍에 의해 비산될 가능성이 높아진다(Deveau, 2021). 특히, 8m 구간에서 좌우 편차가 더 두드러지게 나타난 것은 송풍의 직접적인 영향 때문으로 보인다. 이에 따라, 해외에서는 접

선유입형(tangential) 송풍 팬을 채택하여 상하좌우의 송풍 편차를 줄이고 방제 효율을 높이는 설계를 적용하고 있다(전중훈, 2024a).

또한, 두 RPM 모두 8m 구간에서 최소 51.8%에서 최대 94.1%의 피복률을 나타냈다. 이는 앞서 언급한 감수지 방제가 기준을 고려할 때, 살포 열간 외 최소 1열이 중복 방제될 가능성이 있음을 의미한다. 특히, 최근 밀식재배 체계가 더욱 고도화되어 열간 거리가 2.8m 또는 그 이하로 좁아지고 있다는 점을 고려할 때, 현재와 동일한 방제 운용을 유지하면 농약 낭비가 증가할 수 있다.

## 2.2. 적정 약량 분석

살포 약량에 따른 감수지 피복률 비교를 나타낸 <표 3-3>을 살펴보면, 250L/10a의 경우, 앞 앞면 피복률은 하단부에서 100%, 중단부에서는 약 88%, 상단부에서는 약 80%를 기록하였다. 400L/10a에서는 하단부가 약 100%, 중단부는 약 96%, 상단부는 약 90%의 피복률을 나타냈다. 앞 뒷면 역시 두 약량 모두 앞 앞면과 유사한 결과를 보였다.

<표 3-3> 각 약량에 따른 앞 앞/뒷면 평균 피복률 분석(%)

구분	수고(m)	평균 피복률([Average ± SD% <sup>a</sup> ])	
		250L/10a	400L/10a
앞면	3.1-	79.3 ± 7.3b	89.1 ± 3.9a
	1.6-3	88.7 ± 5.1b	96.8 ± 2.9a
	0-1.5	100a	99.2 ± 0.2a
뒷면	3.1-	81.4 ± 4.1a	86.2 ± 5.7a
	1.6-3	85.9 ± 4.6b	95.1 ± 2.4a
	0-1.5	96.3 ± 3.2b	100a

a: 각 수고에 따른 평균 피복률의 표준편차

통계 분석 결과, 앞 앞면 기준으로 중단부와 상단부에서 250L/10a와 400L/10a 간에 통계적으로 유의미한 차이가 확인되었으며, 앞 뒷면에서는 하단부와 중단부에서 통계적 유의성이 나타났다. 그러나 앞서 설정한 적정 방제 기준인 75% 이상의 피복률을 고려할 때, 모든 구간에서 충분한 방제가 이루어진 것으로 판단된다.

다만, 본 실험처럼 과수에서 진행되는 감수지 실험은 조사 주마다 가지나 과실의 위치가 달라질 수 있기 때문에, 모든 실험 개체에서 동일한 높이와 수관 폭을 구성하는 것은 어렵다. 그럼에도 불구하고, 살포 경향을 분석함으로써 과원의 수형에 맞는 방제 특성을 파악할 수 있으며, 본 실험 또한 그러한 평가를 제시할 수 있다.

### 3. 응애 분포에 따른 분석

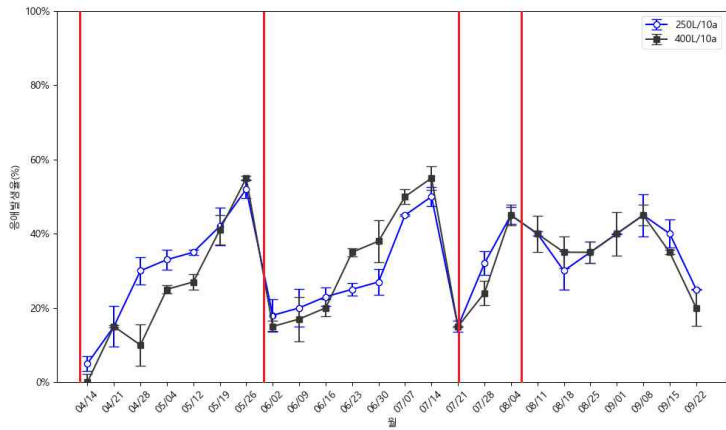
〈그림 3-2〉는 약량에 따른 주간별 응애 밀도와 살포 시기를 분석한 것으로 응애 밀도가 가장 높아지는 시기인 4월부터 9월까지의 경향을 보여준다. 시기마다 응애 발생 밀도를 판단하는 기준은 다르지만, 본 실험에서는 농촌진흥청의 응애 예찰법을 참고하여 4-6월에는 채취한 잎당 응애 1마리를 기준으로, 7-9월에는 잎당 응애 2-3마리를 기준으로 응애 발생률을 측정하였다. 전체 관찰 앞에서 응애 발생 밀도가 40-60%일 때 방제가 필요한 시기라고 판단하였다.

먼저 4월 14일부터 5월 26일까지의 응애 발생률을 살펴보면, 저약량 처리구에서 고약량 처리구보다 응애 발생 밀도가 빠르게 상승하는 경향이 있었다. 그러나 5월 26일에 두 처리구의 응애 발생률은 각각 52-56%로 비슷하게 나타났다. 5월 31일 방제 이후, 두 처리구 모두 응애 밀도가 급격히 감소하여 6월 2일 조사에서 저약량 처리구는 19.2%, 고약량 처리구는 14.8%로 나타났다. 이후 7월 14일까지 두 처리구의 응애 밀도가 다시 상승하여, 저약량 처리구는 약 54%, 고약량 처리구는 약 58%를 기록하였다.

7월 21일 방제 후에도 두 처리구 모두 응애 발생률이 크게 감소하였으며, 8월 4일 조사에서 두 처리구의 응애 발생률은 40.1%로 비슷하게 나타났다. 그러나 8월 7일 방제 이후, 모든 처리구에서 응애 밀도가 다시 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같이, 일부 시기에서는 약량에 따른 응애 발생률의 차이가 관찰되기도 했지만, 저약량뿐만 아니라 고약량 처리구에서도 유사한 응애 발생 패턴이 나타났다. 따라서 이번 실험에서는 살포 약량에 따른 응애 발생 밀도 양상에서 유의미한 차이를 발견하기 어려웠다.

〈그림 3-2〉 약량에 따른 주간 별 응애 밀도



주 1: 각 주의 평균 응애 밀도에는 해당 값의 표준편차를 나타내는 오차 막대가 포함되어 있으며, 이는 평균 값의  $\pm 8\%$  수준에 해당함.  
 주 2: 그래프 내 붉은 선은 응애 약 살포시기를 의미.

〈그림 3-3〉은 본 과원에서 채취한 잎과 기타 과수원 자재 등에서 나타난 점박이 응애의 모습으로 점박이응애를 비롯한 응애류는 최근 고온의 생육 조건과 짧은 생육 주기 등으로 인해 관리의 필요성이 증가하고 있으며, 전 세계적으로 농작물의 주요 해충으로 평가받고 있다(Adesanya, 2021). 국내 사과원에서는 응애 방제를 위해 살비제를 연간 2회에서 5회 정도 사용하고 있으며, 이는 지역에 따라 차이가 있다(농촌진흥청, 2014). 그러나 현재 응애는 상업적으로 등록된 거의 모든 살비제에 대해 저항성을 발달시킨 것으로 확인되어(이규리 등, 2010; 신은경, 2021), Price 등(2000)은 방제 시간 증가, 비용 상승, 환경 오염 가능성에 대해 경고하였다.

따라서 단순히 살비제를 많이 살포하거나 횟수를 늘리는 방식의 응애 방제는 오히려 저항성 발달을 촉진하고, 추가적인 비용을 초래할 수 있다. 이러한 이유로 효율적인 방제 전략이 필요하며, 약제 사용의 신중한 계획과 통합 해충 관리(IPM) 접근법이 중요하다.

〈그림 3-3〉 본 과원에서 채취한 시료에서 현미경으로 관찰한 점박이응애



#### 4. 과실 품질 및 잔류 농약 분석

경도, 당도 및 산도 과실 특성 조사를 나타낸 <표 3-4>에서는 두 살포 약량 모두 큰 차이를 볼 수 없었다.

<표 3-4> 약량별 과실 품질 분석

약량(L/10a)	경도(kg/8mm)	당도(°Brix)	산도(%)
250	3.67	14.8	0.42
400	3.51	14.9	0.31

청송군농업기술센터에 의뢰한 두 살포 약량의 잔류 농약 검사 결과 중 13종의 검출치를 나타낸 <표 3-5>에서는, 응애 방제에 사용된 Propargite, Abamectin, Spiromesifen이 모두 잔류 농약 허용 기준치보다 낮게 검출되었다. 이는 우리나라에서 2019년부터 시행된 농약허용기준 강화제도(Positive List System: PLS)에 부합하는 결과로, 두 살포 약량 구역 모두에서 안전하고 양질의 과실이 생산되고 있음을 확인할 수 있다.

<표 3-5> 약량별 잔류 농약 분석

성분명	검출치(mg/kg)		잔류허용기준	비고
	250L/10a	400L/10a		
Carbendazim	0.34	0.36	3.0	적합
Novaluron	0.24	0.20	1.0	적합
Diflubenzuron	0.17	0.19	2.0	적합
Etofenprox	0.11	0.11	1.0	적합
Acetamiprid	0.03	0.03	0.3	적합
Pyraclostrobin	0.02	0.01	0.3	적합
Pyraziflumid	0.01	0.01	1.0	적합
Tebuconazole	0.05	0.04	1.0	적합
Bifenthrin	0.03	0.03	0.5	적합
Difenoconazole	0.03	0.03	1.0	적합
Propargite	0.15	0.07	5.0	적합
Abamectin	0.00001이하	0.00001이하	0.02	적합
Spiromesifen	0.00001이하	0.00001이하	1.0	적합

그러나 소비자들은 여전히 과도한 농약 사용으로 인한 환경 악화를 우려하고 있으며(윤석원 등, 2000), 잔류 농약에 대한 불안감도 느끼고 있는 것으로 나타났다(식품의약품안전처, 2010). 따라서 안전하고 신뢰할 수 있는 생산 환경을 구축하기 위해서는 살포 약량을 줄여 소비자가 체감할 수 있는 생산 환경 구축이 필요하다.

또한 2022년에 개정된 농림축산식품부의 "농약의 인축독성 시험성적서 검토기준"에 따르면, 2010년 기준으로 1ha당 4,500L의 살포 약량이 제시되었으나, 2022년에는 2,500L로 감소하였다. 이러한 조치는 농약의 소비자 위해성뿐만 아니라 농약 살포자의 위해성도 함께 고려한 결과로, 살포 약량 감소가 생산자에게도 큰 영향을 미친다는 것을 보여준다. 따라서 본 실험에서는 과실에 대한 잔류 농약 검사만 시행하였으나, 추후 농작업자에 대한 영향 평가 또한 필요할 것이다.

## 5. 경제성 분석

### 5.1. 응애 방제 비용

〈표 3-6〉에 제시된 바와 같이, 두 살포 약량의 응애 방제 관련 농약 비용을 분석하였다. 본 실험 과원에서는 정규 응애 방제를 3월, 5월, 8월에 총 3회 실시하였으며, 7월에 실시한 방제는 정규 응애 방제는 아니었으나, 약제 성분 중 일부에 살비제 성분이 포함되어 있어 함께 분석하였다.

3월에 살포한 기계유는 사과응애알의 월동 시기에 효과적인 약제로, 기계유 유막이 사과응애알을 감싸 고사시키는 역할을 한다. 그 외 약제는 응애 방제를 위한 전용 살비제로, 현장 상황에 따라 선택하여 사용되었다. 농약 비용을 살펴보면, 저약량(250L/10a)과 고약량(400L/10a) 간 약 2배 가까운 차이가 나타났다.

〈표 3-6〉 약량별 방제시 응애 농약 비용

월	(단위 : 원/ha)		
	2500L/ha	4000L/ha	유효 성분
3	231,000	412,500	Machine oil
5	132,500	238,500	Spiromesifen
7	90,000	180,000	Abamectin
8	56,100	102,000	Propargite
전체	509,600	933,000	-

〈표 3-7〉은 응애 방제에 소요된 농약비, 주유비, 인건비, 수도비 등의 항목을 포함하여 두 살포 약량에 따른 응애 방제비 내역을 평가한 결과이다. 주유비는 면세유 판매가격과 SS기의 시간당 연료 소모량을 바탕으로 계산하였으며, SS기의 시간당 연료 소모량은 주행 시간과 연료 소비량을 기준으로 산출하였다. 인건비는 시간당 10,000원으로 설정하였고, 수도비는 100원의 단가로 계산하여 살포량(리터) 기준으로 산출하였다.

응애 방제비 중 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 농약 구매 비용이었으며, 그다음으로 수도비, 인건비, 주유비가 뒤따랐다. 농약비는 과원 경영과 농산물 가격 상승에 큰 영향을 미치는 주요 요소로, 앞으로도 비용이 꾸준히 상승할 것으로 예상된다(한국농촌경제연구원, 2023). 농촌진흥청(2017)에 따르면, 우리나라 사과원이 살포 물량을 450L/10a에서 350L/10a로 낮추면 약 4억 6천만 원의 농약 비용을 절감할 수 있을 것으로 보고 있다. 또한 살포 약량 감소 시 노동 시간도 약 2시간 줄어들며, 살포 시간 외에도 추가적인 관수 작업 등에서 시간 절감 효과를 볼 수 있었다.

따라서 농약 구매 비용 절감 및 노동 시간 개선을 위해 살포 약량을 적절히 줄이는 노력이 요구된다.

〈표 3-7〉 약량별 과원 응애 방제비 항목

(단위 : 원/ha)

구분		내역(2,500L/ha)	금액	내역(4,000L/ha)	금액
농약 구입		4종	509,600	4종	933,000
소계			509,600		933,000
방제기 운영	주유비 <sup>a</sup>	1,057원×12.84L	13,570	1,057원×23.64L	24,990
	인건비 <sup>b</sup>	10,000원×2.23시간	22,300	10,000원×4.06시간	40,600
	수도비 <sup>c</sup>	100원×2,500L	250,000	100원×4,000L	400,000
소계			285,870		465,590
합계			795,470		1,398,590

주: 과원 현장 살포 여건에 따라 차이 발생  
a: 23년 7월 21일 면세유 가격 기준  
b: 방제 시 행해진 작업 시간  
c: 경북 청송군 농업용수 기준

### 나. 과원별 방제 차이 조사

과원별 시기에 따른 응애 방제 여부, 살포 물량, 주행 속도(단)를 조사한 〈표 3-8〉과 〈표 3-9〉를 살펴보면, 본 실험 과원 주변 5개 과원을 대상으로 조사한 결과, 모든 농가에서 살포 물량, 응애 방제 여부, 주행 속도에서 차이가 있는 것으로 확인되었다.

가장 적게 살포하는 농가는 350L/10a, 가장 많이 살포하는 농가는 550L/10a로 나타났으며, 응애 방제 살포 시기도 과원마다 뚜렷한 차이를 보였다. 응애 약제를 가장 적게 살포한 농가는 6회, 가장 많이 살포한 농가는 7회였고, 평균적으로 6.8 회로 조사되었다. 주행 속도의 경우, 5개 과원 중 3곳이 저속 2단을, 2곳이 저속 1단을 사용하여 방제를 진행하고 있었다.

이러한 차이는 재배 수형, 과원주의 판단, 병충해(특히 응애)의 발생 정도에 따라 모든 농가에서 동일한 방제가 이루어지지 않기 때문에 발생한 것으로 보인다. 그러나 이를 감안하더라도, 본 조사에 참여한 과원 대부분은 실험 과원보다 살포 횟수가 상대적으로 높았다는 것을 확인할 수 있었다.

〈표 3-8〉 조사 과원별 응애 방제 시기 및 방제 약량

과원 월	A (350L/10 a)	B (450L/10 a)	C (450L/10 a)	D (500L/10 a)	E (550L/10 a)
3	0	-	-	0	0
4	0*	0	0*	0	0
5	0	0*	0	0*	0
6	-	-	0	0	-
7	0	0*	0	-	0*
8	0	0*	0*	0*	0*

주: \*은 월 별 중복 방제

〈표 3-9〉 조사 과원별 응애 방제 시 주행 속도(단)

	A	B	C	D	E
기어(단)	저속 2	저속 2	저속 1	저속 2	저속 1

## IV. 결론

본 연구는 타워형 방제기를 활용하여 국내 밀식 사과원에서 농약 낭비를 줄이고 방제 효율을 높일 수 있는 적정 살포 약량을 제시하기 위한 목적으로 수행되었다. 특히, 사과원의 주요 해충인 응애를 중심으로 1년간 응애 발생 밀도를 비교 분석하여 적정 방제 기준을 마련하고, 살포 약량에 따른 경제적 비용을 산출함으로써 농가의 실질적인 이익과 환경적 효과를 평가하였다.

연구 결과, 타워형 방제기를 사용한 250L/10a의 살포 물량으로도 응애 방제가 충분히 가능할 것으로 예상되며, 이를 통해 농약 절감, 방제 비용 감소, 환경 부담 경감, 그리고 소비자와 생산자가 신뢰할 수 있는 안전한 생산 체계를 구축할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 연구 결과는 현재 국내 사과원의 고밀식재배 체계에서 농약 사용을 최적화하고, 지속 가능한 농업을 위한 실질적인 방안이 될 수 있다.

그러나 본 연구는 응애라는 특정 해충에 한정하여 연구가 진행되었기 때문에, 다

른 주요 병해충에 대한 추가 연구가 필요하며, 타워형 방제기로 진행하였기 때문에 현재 많은 농가에서 사용하고 있는 방사형 방제기 및 수형에 따라 다른 결과를 보일 수 있다. 또한, 최근 변화하고 있는 다축 수형과 같은 밀식재배 체계와 연계된 방제 효율성 연구도 필요하다. 이를 통해, 사과원의 생산성을 극대화하고 환경적 영향을 최소화하는 새로운 방제 전략을 도출할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 강태경, 이동현, 이채식, 이공인, 최완규, 노수영. (2004). “과수 방제기용 정전대전 노즐의 분무 및 부착특성”. *한국농업기계학회지* 29(1), 21-28.
- 권혜영, 홍수명, 김상수, 백민경, 이효섭, 김단비, 문병철. (2017). “국내 사과원의 재배형태 및 농약 살포방법 조사”. *농약과학회지* 21(1), 9-16.
- 김상수, 권혜영, 이강수. (2017). “우리나라 사과원의 농약 살포물량 설정을 위한 LWA 모델 적용 연구”. *농약과학회지* 21(2), 114-122.
- 농촌진흥청. (2014). *사과 해충종합관리*.
- 농촌진흥청. (2020). *2020년 초보농업인을 위한 사과 밀식재배 정지·전정*.
- 사공동훈. (2007). *고밀식 사과원에서 품질향상과 생산성 및 생장 조절*. (박사학위, 경북대학교).
- 신은경, 조선란, 강열규, 김현경, 구현나, 등. (2021). “야외집단 점박이응애에 대한 살비제 저항성 점 돌연변이 분석과 방제약제 선발”. *농약과학회지* 25(3), 177-187.
- 유용만, 임치환, 권혜영. (2017). *사과원에서의 해충방제를 위한 최적농약 살포물량 설정*. 농촌진흥청.
- 윤석원, 박영복. (2000). “유기농산물 소비실태 및 소비자 분석”. 『*한국유기농업학회지*』. 8(3): 35-52.
- 윤태명. (2001). *경북 사과산업의 지속가능한 발전과 고품질 사과 생산을 위한 연구*. 안동대학교. 9-30.
- 윤태영, 최현, 신창섭, 우덕감, 김태한. (2020). “과수원용 수직 방사형 방제기 개발(Ⅳ) - 농약 부착률평가 -”. *한국농업기계학회지* 25(2): 114.
- 이규리, 구현나, 윤창만, 김길하. (2010). “Bifenazate 저항성 점박이응애에 대한 교차저항성과 미토콘드리아 cytochrome b의 점돌연변이”. *농약과학회지* 14(3), 247-254.
- 이선영, 백민경, 김남숙, 박은성, 손은호, 등. (2019). “PLS 정착을 위한 농업인의 농약사용

- 실태 조사”. *농약과학회지* 23(4), 358-370.
- 이순원, 김동아, 최경희, 정재권. (1999). *원예시험연구보고서-사과원 농약살포 방법과 병해충 방제효율 조사*. 농촌진흥청. 11-1390191-0000130-10.
- 이순원, 이동혁, 최경희, 김동아. (2007). “사과원의 문제 병해충과 관리 실태”. *한국원예과학 기술지* 25(3), 196-203.
- 장일, 김향미, 이순원, 최경희, 서상재. (2015). “거창지역 사과원 농약사용 실태분석”. *농약과학회지* 19(2), 93-100.
- 전종훈, 신배연, 김승환, 윤태명. (2024a). “밀식 사과원에서 효율적인 농약 살포를 위한 고속 방제기 별 분무 및 송풍 양상 비교”. *농약과학회지* 28(2), 127-140.
- 전종훈, 신배연, 김승환, 윤태명, 반승현. (2024b). “밀식 사과원에서 살포 물량에 따른 방사형 과 타워형 고속방제기 현장 검증”. *농약과학회지* 28(3), 215-226.
- 전종훈, 윤태명, 반승현. (2024c). “국내 사과원 재배 형태 및 방제 실태 조사”. *농약과학회지* 28(3), 227-270.
- 전종훈, 윤태명, 신배연, 김승환. (2022). “밀식과원에서의 살포약량 경감을 위한 방사형과 타워형 고속방제기 성능 비교”. *원예과학기술지*, 40(2): 49.
- 정민국, 서동주, 이형용, 김재휘, 배현정. (2023). *AGRICULTURAL OUTLOOK 2023 KOREA-2023년 농업 및 농가경제 동향과 전망*. 한국농촌경제연구원.
- 한예훈. (2013). “Feasibility study for low volume spray in apple orchard”. (박사학위, 충남대학교).
- 한재환, 국승용, 김지연, 전익수, 김성훈. (2013). *주요 원예농산물 경영실태 분석 및 생산비 절감 방안*. 한국농촌경제연구원.
- Adesanya AW, Lavine MD, Moural TW, Lavine LC, Fang Zhu, et al. (2021). “Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems”. *J. Pest Sci.* 94, 639-663.
- Andersen PG, Jorgensen MK. (2010). “Calibration of sprayers”. *Julius-Kühn-Archiv* 426, 143-152.
- Blanco MN, Fensk RA, Kasner EJ, Yost MG, Seto E, et al., (2019). “Real-time monitoring of spray drift from three different orchard sprayers”. *Chemosphere* 222, 46-55.
- Calumpang SMF. (1996). “Exposure of four filipino farmers to parathion-methyl while spraying string beans”. *Pesticide science* 46, 93-102.

- Deveau J. (2015). "Airblast 101: a handbook of best practices in airblast spraying".
- \_\_\_\_\_. (2021). "Crop-Adapted Spraying(CAS) and an apple orchard case study".
- Dorigoni A. (2016). "Innovative fruit tree architecture as a nexus to improve sustainability in orchards". *Acta Horti* 1137, 1-10.
- Florence V, Fanny LB, Jean LM, Xavier C, Cécile B. (2019). "What are the best sprayer settings to avoid spray drift from apple orchards?". *15th Workshop on Spray Application and Precision Technology in Fruit Growing* 33, 85-86.
- Fox RD, Derksen RC, Zhu H, Brazee RD, Svensson SA. (2008). "A history of air-blast sprayer development and future prospects". *ASABE* 51, 405-410.
- KOSIS. (2024). *2023 농작물생산통계*. 통계청.
- Kasner EJ, Fenske RA, Hoheisel GA, Galvin K, Blanco MN, et al., (2020). "Spray drift from three airblast sprayer technologies in modern orchard work environment". *Ann. Work Expo. Health.* 64(1), 25-37.
- Koch H. (2007). "How to achieve conformity with the dose expression and sprayer function in high crops". 『Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer』. North Rhine-Westphalia, Germany.
- Law SE, Cooper SC. (1988). "Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer". *ASAE.* 31, 984-989.
- Lu X, Emiloi G. (2024). A novel methodology for water-sensitive papers analysis focusing on the segmentation of overlapping droplets to better characterize deposition pattern. *Crop Protection*. DOI: 10.1016/j.cropro.2023.106492.
- Mangado J, Arazuri S, Arnal P, Jarén C, López A. (2013). "Measuring the Accuracy of a Pesticide Treatment by an Image Analyzer". *Proc Technol* 8, 498-502.
- North Carolina State Extension, (2024). *2024 Integrated orchard management guide for commercial apples in the southeast*, North Carolina State University.
- Price JF, Legard DE, Chandler CK, (2000). "Two potted spider mite resistance to abamectin miticide on strawberry and strategies for resistance management". *Acta Horti.* 567, 683-685.
- Quanshun A, Dong L, Yangliu W, Pan C. (2020). "Deposition and distribution of

- myclobutanil and tebuconazole in a semi-dwarf apple orchard by hand-held gun and air-assisted sprayers application”. *Pest Manag. Sci.* 75, 4123–4130.
- Robinson TL, Hoying SA, Reginato GH. (2006). “The tall spindle apple production system”. *New York Fruit Quarterly* 14(2), 21–28.
- Sutton TB, Unrath CR. (1984). “Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards”. *Plaant Dis* 68, 480–484.
- Thorat DS, Jyoti B, Khadatkar A. (2022). “Precision spraying technologies for orchard crops”. *ICAR* 67(4), 34–36
- Zhenqiu L, Ke-Hai Y. (2010). “Welch’s t test”. DOI: 10.13140/RG.2.1.3057.9607.

국가농작물병해충관리시스템. [ncpms.rda.go.kr/npms](http://ncpms.rda.go.kr/npms)

신젠타코리아. [www.syngenta.co.kr](http://www.syngenta.co.kr)