

論文

회전의 항공기 공중살포 특성 측정

임세훈*, 송병흠**

Measuring the characteristic of aerial spray by rotary wing

Se-Hoon Lim*, Byung-Heum Song**

ABSTRACT

This paper presents results from field studies carried out to monitor off-target droplet movement of endosulfan insecticide applied to the Korea chestnut tree area.

As a results, mean airborne drift values were recorded 25m as average from downwind of a single flight line(sample line) in mountain terrain and mean effective swath width was recorded 19.5m as average in a plain. In terms of characteristics of geography of Korea aerial application is mainly carried out in mountain terrain. The equipment, weather conditions, and appropriate aerial spray technic are required for effective aerial application. In particular, the pilot can get effective results when he only sprays with consideration of environment factors since there is much turbulence in mountain terrain. Eventually, the most effective factor of droplets drift is to estimate the local weather conditions exactly.

Key Words : 항공방제, 공중살포(Aerial Spray), VMD(Volume Median Diameter), 유효살포폭(Effective Swath Width), 입자편류(Droplets Drift)

I. 서론(Introduction)

1.1 연구 배경

1970년대 초반 미 농무부에서는 항공기를 이용한 항공방제 실험 지원을 시작하였으며 근래에는 방제 SDTF(Spray Drift Task Force)가 구성되어 1992~1995년 사이에 공중살포시 입자 편류에 관한 2,000만 달러 프로젝트를 수행하였다. 이러한 결과로 바람, 속도, 온도, 상대습도 등 입자편류에 영향을 주는 여러 요인들과 관련된 주목할 만한 결론을 이끌었다. 이미 호주, 미국 등의 나라에서는 기상, 방제장비, 비행기술 등 효과적인

항공방제를 위하여 많은 노하우를 습득하고 있다.

그러나 우리나라에서 항공방제에 관한 실험은 약 10년전 노즐크기에 따른 살포특성을 측정하였을 뿐 그 외의 실험이나 관련 연구는 거의 전무한 편이다. 특히 산악지형에서 항공기를 이용한 공중살포에 관한 연구는 우리나라뿐만 아니라 호주나 미국 등에서도 찾아보기 어려웠다.

기동성이 좋은 항공기를 이용하여 공중에서 약제를 살포하는 것은 매우 효과적일 수 있다. 그런데 공중에서의 살포는 생각보다 많은 변수가 존재하고 있으며 항공기의 안전측면을 고려하지 않을 수 없다. 결국 안전을 보장하는 동시에 항공방제효과를 최대로 살리기 위해서는 우리나라 지형, 환경에 적합한 장비를 도입하고 공중살포 기술을 개발하는 것이 중요하다.

본 연구는 공중살포시 살포되는 입자의 특성을 분석하여 항공방제 구역에서의 살포폭에 대한 자료로 활용하고 밤나무와 같은 산악지형에서의

2008년 11월 18일 접수 ~ 2009년 3월 20일 심사완료

* 한국항공대학교 대학원 항공운항관리학과

** 한국항공대학교 항공운항학과

연락처, E-mail : newjxfree@naver.com

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

방제효과를 측정하였다.

1.2 연구 범위

본 실험은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 첫째는 평지에서 비행패턴실험(Flight Pattern Test)이고 둘째는 밤나무 산악지형에서의 방제효과 실험이다.

비행패턴실험은 본격적인 약제를 살포하기 전 입자 특성을 분석하기 위해 유효살포폭(Effective Swath Width)과 입자 편류율을 평지에서 측정하여 살포구역 계획 시 적절한 살포폭을 결정하는 기준이 된다.

밤나무 산악지형에서의 방제효과 실험은 산악지형에서 입자 특성을 측정하는 것으로 비행패턴 실험에서 얻어진 살포폭을 기준으로 산악지형에서의 방제효과를 분석하였다.

II. 실험방법(Materials and Methods)

2.1 입자크기와 분포

방제효과란 입자를 원하는 곳에 접촉, 부착, 남겨놓게 하면서도 편류(Drift)의 위험성을 최소화 하는 것으로 결정된다. 방제효과를 정량적으로 평가하기 위해서 살포입자의 크기(VMD)와 입자분포(Droplets Distribution)를 측정한다.

VMD(Volume Median Diameter)는 입자크기를 통상적으로 표현하는 용어로 사용되는데, 이는 입자의 지름을 표시하며, 그 의미는 "총 입자 중 50%의 입자는 이보다 지름이 크고, 나머지 50%의 입자는 이보다 지름이 작다"는 개념으로 중간값의 의미를 갖는다. 큰 VMD를 갖는 노즐은 일반적으로 편류(Drift)를 피하고자 할 때에 선택되어지며, 반면에 작은 VMD를 갖는 노즐은 원하는 작물에 좀 더 많은 약제가 접촉, 부착하려고 할 때에 선택되어진다. 일반적으로 200 μ m이하의 지름을 갖는 입자들은 편류의 가능성이 많은 것으로 여겨지고 있다. 영국의 BCPC(The British Crop Protection Council)에 따르면 입자 크기별 '약제 살포의 질(Spray Quality)'의 기준을 제시하였는데 목적하는 병해충에 따라서 요구되는 입자크기는 다르지만, 통상 217 μ m ~ 464 μ m를 적당한 입자 크기로 간주한다.

입자분포는 1cm² 당 감수지에 반응한 살포입자의 입자 개수를 의미한다. 통상 입자밀도(Droplets Density)라고도 표현한다. 입자 밀도는 '얼마나 균일하게 살포되었는지, 편류에 의한 영

향은 어느 정도인지'의 의미를 갖는다. '스위스 Crop Protection AG'에 의하면 살포 타입별도 입자밀도의 기준치를 설정해놓았다. Table 1과 같이 살충제의 경우 입자수가 20~30개 미만이 되면 균일하게 살포되지 않은 것으로 판단한다.

Table 1. 입자분포 분류

1cm ² 당 입자수	살포 형식
20-30	살충제(Insecticides)
20-30	제초제
30-40	접촉성 제초제
50-70	살균제(Fungicides)

2.2 방제효과와 입자편류

"방제 효과가 높다" 라는 의미는 알맞은 양의 약제를 원하는 곳에 접촉시키는 것을 의미한다. 방제 효과에 영향을 미치는 요인으로 크게 기상, 장비, 비행패턴으로 나뉜다. 적절한 기상상태에서 스프레이 붐대, 노즐 등의 장비가 결정되고 조종사의 비행기술에 따라 방제효과가 달라지게 된다. 결국 방제효과의 핵심은 입자의 편류(Drift)를 막는 것이다.

SDTF(Spray Drift Task Force)에서는 "방제구역이 아닌 엉뚱한 지역으로 약제가 공기 중을 통하여 물리적으로 이동하는 움직임"을 입자 편류로 정의하였고 편류에 미치는 요인은 아래와 같다.

- 살포고도(Release Height)
- 풍속(Wind Speed)
- 풍향(Wind Direction)
- 온도(Temperature)
- 상대습도(Relative Humidity)
- 노즐 종류(Nozzle Type)
- 살포 압력(Spray Pressure)
- 분무제(Spray Material)
- 대기 안정도(Air Stability) 등

2.3 실험설계

이전의 실험에서 항공기 속도, 고도, 노즐별 방제효과를 측정한 결과 항공기 속도는 40kts ~ 60kts 범위에서 운용하는 것을 권고하였고 분사 노즐은 D-6 종류를 사용할 것을 결론 내렸다.

따라서 본 연구에서는 항공기 기동, 장비 요인

을 통제변수로 설정하기 위하여 항공기 속도 50kts, 고도 15m로 유지하고 D-6 분사노즐로 통일하였다. AS-350 중형 헬기 스프레이 붐대에 분사노즐을 좌우로 30개씩 총 60개를 장착하였고 살포 압력은 약 20psi로 유지하였다.

이전의 실험을 통해 나뭇대로의 실험 노하우를 습득하게 되어 본 실험에 적용하였는데 그것은 감수지가 쳐지는 현상이었다. 방제효과를 측정하는 핵심 재료인 감수지에 약제 입자가 떨어질 경우 약제 무게로 인하여 감수지가 쳐질 우려가 있었는데 이것을 방지하기 위해 플라스틱판을 만들어 그 위에 감수지를 설치하였다. 밤나무 현장에 감수지를 설치하기 위해 먼저 밤나무 높이와 비슷한 길이 7m의 대나무를 확보하였다. 그 대나무에 상, 중, 하의 높이별로 감수지를 설치하고 대나무는 밤나무에 고정시켰다.

전라남도 광양의 밤나무 방제 현장에서 실험을 하기 위하여 살포 전 총 7개의 대나무를 20m 간격으로 설치하였다. 대나무를 설치한 표본채취선(Sampling Line) 주변에도 무작위로 감수지를 설치하여 전반적인 입자살포 특성을 분석을 실시하였다.



Fig 1. 산악지형 실험 현장

표본채취선(Sampling Line)은 085° - 265° 방향으로 약 150m 구역 내에 감수지를 설치하고 감수지 수거 인원은 농약 중독을 피하기 위해 현장에서 약 200m 떨어진 곳에 대기하였다.

감수지는 매우 민감하기 때문에 감수지를 수거하는 인원은 장갑을 착용하고 입자가 떨어진 후 15분 이내로 재빨리 수거하여 실험 결과를 보존하였다.

밤나무 현장의 실험과 더불어 유효 살포폭을 분석하기 위하여 140m×50m 이상의 넓은 평지를 선정하였다. 그리고 항공기 통과(pass)경로에 붉은 깃발을 설치하여 조종사에게 정확한 참조점을

제공하도록 하였다.

평지의 감수지는 Fig 2와 같이 표본채취선(Sample Line)을 따라 22개를 설치하였고 바람에 정풍으로 항공기가 살포 할 수 있도록 설치하였다. 실험 결과값의 타당성을 분석하기 위해 표본채취선(Sample Line)은 50m의 간격으로 두 줄로 설치하였다. 현장의 바람은 예상과 달리 유동적이어서 항공기 통과(pass) 당시의 바람 속도 및 방향을 정확히 기록하였다.

마지막으로 수거된 감수지는 이미지 스캐닝을 본뜬 후 Stainalysis Program을 사용하여 이미지를 분석하였다. 이 프로그램을 사용하여 입자크기(VMD)와 1cm² 당 입자 개수를 분석하여 최종적으로 방제효과를 평가하였다.

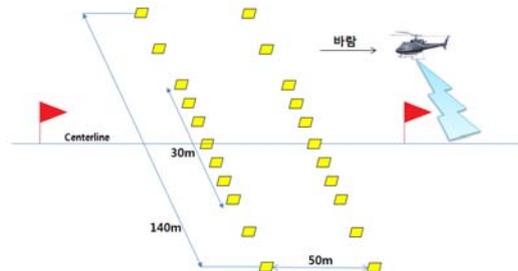


Fig 2. 비행 패턴 실험 구역

III. 결과(Results)

3.1 입자크기의 크기(VMD)

입자 크기에 따라 편류의 영향은 급격히 변화였다. 예를 들어 100 μ m와 200 μ m의 입자가 있다면 200 μ m 입자보다 100 μ m 입자가 편류의 영향을 더 많이 받게 되고 편류량은 정확히 2배가 아닌 2배를 훨씬 초과하여 영향을 받게 된다.

그 이유는 떨어지는 속도의 차이가 크기 때문인데 예를 들어 200 μ m 입자(20 μ m의 10배 크기)는 20 μ m 입자 크기보다 (200/20)²=(10)²=100배 빠르게 떨어진다.

따라서 작은 입자일수록 공기 중에 머물러 있는 시간이 길어지고, 그만큼 바람, 습도 등 편류에 영향을 받을 수 있는 가능성도 더욱 커지게 된다. Table 2는 무풍 조건에서 입자 크기별로 떨어지는 침강 속도이다.

Table 2. 입자의 크기와 침강속도

입자의 크기(μm)	침강속도(ft/min)
200	231.0
100	59.0
80	38.0
50	14.7
40	9.6
20	2.4
10	0.6

본 실험에서는 D-6 노즐을 주로 사용하였고 측정된 전체 평균 입자 크기는 $400.1\mu\text{m}$ 로 항공 방제에 적절한 크기였다. 산악지형에서 측정된 입자 크기는 평균 $430.7\mu\text{m}$, 평지에서는 $323.9\mu\text{m}$ 로 측정되어 산악지형의 경우 입자 크기가 대체로 크게 나타났다. 그 이유는 산악지형에서의 풍속이 5-7kts로 바람이 강한 편이었고 바람이 강하면 작은 입자는 대부분 편류되므로 입자의 평균값이 증가하게 되기 때문이다.

입자 크기별 편류거리 공식에 따라 입자의 크기가 $400\mu\text{m}$, 바람 5kts, 살포고도 15m로 살포할 경우 입자의 편류 거리는 25m에 이른다. 실제로 산악지형에서 항공기가 1차 통과(pass)시 입자 편류율을 계산하지 않고 표본채취선(Sample Line) 상공으로 통과(pass)하여 살포하였는데 감수지에 떨어진 양이 매우 적었다. 따라서 2차 통과(pass)시에는 입자 편류율을 계산하여 다시 공중 살포한 결과 유효한 데이터를 얻을 수 있었다.

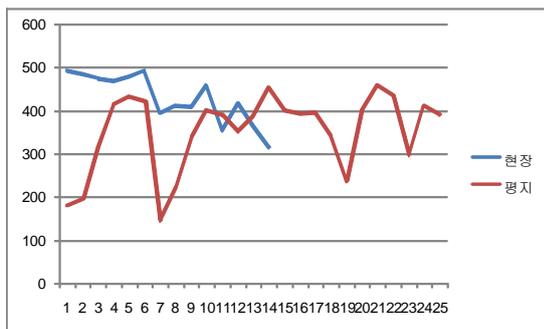


Fig 3. 측정된 입자의 크기

3.2 비행패턴실험 시각분석

평지에서의 비행패턴실험 결과 수거된 감수지를 시각적으로 분석한 결과이다. 항공기 1차 통

과(pass)의 경우 바람은 180° 방향으로 약 2kts로 불어 입자의 편류는 360° 방향으로 발생하였다. 2차 통과(pass)의 경우 바람은 정반대의 360° , 약 3kts로 불어 입자의 편류는 180° 방향으로 발생하였다. 1차 Pass의 경우 중앙(Center)에 약제가 많이 몰려있고 우측 10m 이후는 약제가 전혀 떨어지지 않았다. 2차 pass의 경우 좌측 10m와 중앙에 약제가 많이 몰려있고 좌측 20m 이후로는 약제가 전혀 떨어지지 않았다. 이렇듯 약제가 몰리는 이유는 측풍 때문에 입자가 몰려 떨어지는 현상 때문이다.

산악지형에서 실험 결과 수거된 감수지를 시각적으로 분석한 결과로써 항공기 1차 통과(pass)의 경우 바람은 360° 방향에서 5-7kts로 강하게 불고 있었다. 1차 통과(pass)의 경우 전반적인 입자 밀도가 매우 낮았다. 특히 1, 2, 3번 까지 약제가 전혀 떨어지지 않았다. 2차의 경우는 편류율을 고려하여 표본채취선(Sample Line) 좌측 약 20m 이격 후 살포한 결과 1, 2, 3번은 약제가 거의 떨어지지 않고 4, 5, 6, 7번은 비교적 적절한 약제가 떨어졌다.

1차와 2차 모두 1,2,3번에 약제가 거의 떨어지지 않은 이유는 언덕지형에 따라 바람의 방향이 바뀐 것으로 판단된다. 7번에서 1번 방향은 상경사 지형으로 산꼭대기가 불고 있고 언덕 쪽으로 갈수록 난기류의 영향으로 바람방향이 다양하게 바뀐 것으로 판단된다.



Fig 4. 산악지형 감수지 설치

3.3 유효 살포폭(Effective Swath Width) 산출

유효 살포폭이란 항공방제 재단체획을 위한 기초 수치로써 항공방제시 유효 살포폭을 기준으로 동일한 간격으로 공중살포 했을 경우 방제 전

구역에 걸쳐 고른 방제효과가 나타나는 것이다. 아래 그림과 같이 1회 살포시 이상적인 조건하에서 방제효과는 삼각형 모양 또는 사다리꼴 모양으로 나타나게 된다. 본 실험에서는 Stainalysis 프로그램을 통하여 분석하였다. 분석 결과 1차 살포폭은 20m(측풍 2kts), 2차 살포폭은 약 18m(측풍 3kts)로 산출되었다.

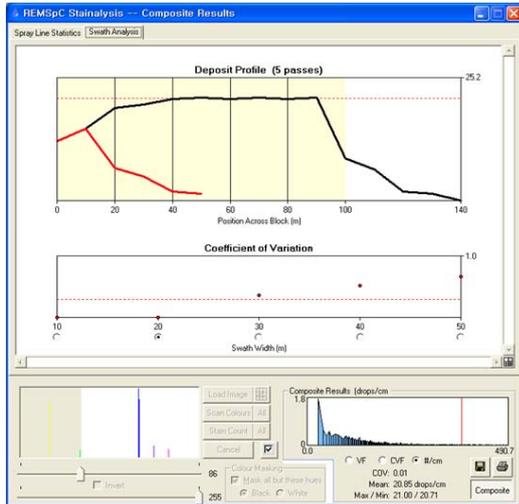


Fig 5. 1차 유효 살포폭

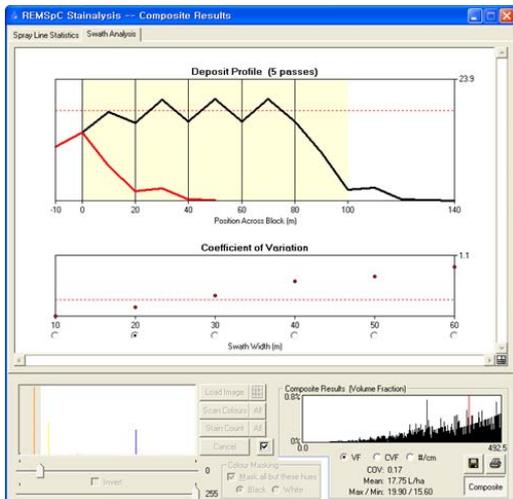


Fig 6. 2차 유효 살포폭

3.4 방제효과 평가

밤나무 현장 1차 실험에서 측정된 입자크기는 486.6 μ m 로 큰 편이었고 입자의 밀도는 1cm² 당 1.3 개로 매우 낮았다. 언덕지형의 강한 바람으로 작은 입자들은 모두 날리거나 큰 입자와 결합되

어 입자의 크기가 커졌고 균일한 살포가 이루어지지 않았다.

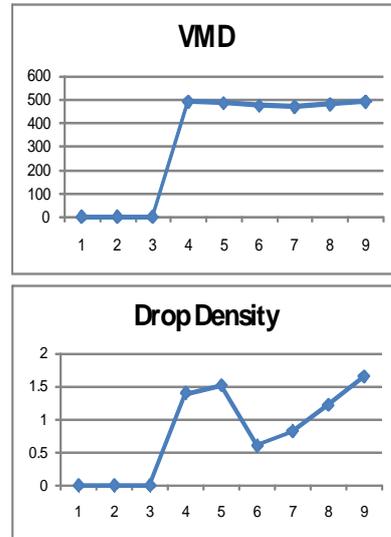


Fig 7. 1차 입자 크기와 밀도

1차 현장 실험에서의 편류를 계산하여 표본채취선(Sample Line) 좌측 20m를 이격하여 실험을 실시하였다. 입자의 크기는 평균 381.1 μ m로 적당한 크기 였지만 입자 밀도는 지점마다 편차가 매우 컸다. 특히 1,2,3,7 번에서의 밀도가 매우 낮았는데 이것은 언덕지형과 주변 나무에 따른 난기류(Turbulence)의 강도가 컸다는 것을 의미한다.

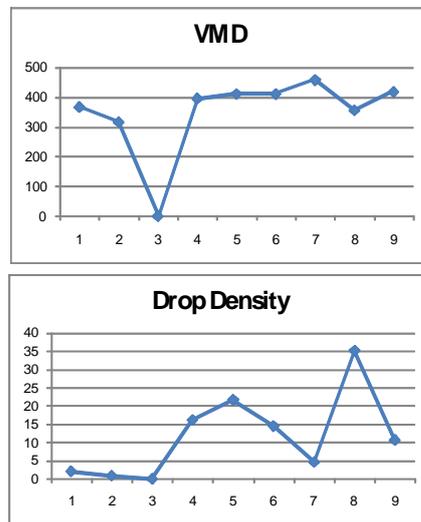


Fig 8. 2차 입자 크기와 밀도

IV. 논의(Discussion)

평지에서는 유의한 결과가 나왔지만 산악지형에서는 1,2,3번 지점에서 감수지에 떨어진 입자는 매우 적었다. 2차 항공기 통과시 편류율을 고려하여 표본채취선(Sample Line)으로부터 20m 이격을 하였지만 결과는 마찬가지였다.

그 이유는 4,5,6,7 지점에서의 풍향과 1,2,3 지점에서의 풍향이 완전히 바뀌었기 때문으로 추측된다. 또한 실험 장소는 주변에 야산이 많은 지역으로 난기류가 많이 존재하고 있었기 때문이었다. 추가로 밤나무 제일 높은 상단에 설치한 감수지 보다 중간지점에 설치한 감수지의 경우 더 많은 입자가 반응하였다. 이 결과 역시 나무와 나무 사이의 난기류가 발생하여 오히려 하향 난기류로 인하여 중간지점에 설치한 감수지에 더 많은 입자가 떨어진 것으로 생각해 볼 수 있다.

결국 산악지형에서의 항공방제는 난기류에 의한 영향이 크게 작용하여 편류가 많이 발생하기 때문에 보통보다 노즐이 큰 장비를 사용하여 편류를 통제할 필요성이 있다.

V. 결론(Conclusion)

본 연구는 안전하면서도 효과적인 항공방제에 대한 방안을 연구하기 위하여 우리나라 지형에서의 공중살포 입자 특성을 측정하여 분석하였다.

분사장비(노즐형식, 분사압력, 스프레이 붐대 등)와 비행기술(항공기 속도, 고도 등)은 이전에 실험에서 권고한 기준으로 동일하게 유지하였으며 평지에서의 비행패턴실험과 산악지형에서의 방제효과를 측정하였다.

비행패턴실험을 통해 바람에 따른 유효 살포 폭을 산출한 결과 1차 살포폭은 20m, 2차 살포폭은 약 18m로 측정되었다.

밤나무 현장에서의 입자 편류 거리는 D-6 노즐, 바람 5kts, 살포고도 15m에서 살포할 경우 편류 거리는 약 25m 로 측정되었다.

기상에 따른 밤나무 항공방제 효과는 바람, 온도, 상대습도, 대기 안정도에 따라 많이 달라진다. 특히 우리나라 같이 산악지형에서 공중살포를 할 경우 산곡풍과 난기류로 바람이 강하고 지점마다 바람 방향의 다양성이 존재하기 때문에 조종사는 환경요인을 고려하여 살포해야만 유효한 효과를 얻을 수 있다. 특히 바람과 살포장비, 입자 크기에 따른 편류율을 계산하여 살포구역에

대한 구체적인 계획을 세워야 한다. 또한 효과적인 항공방제를 위해서는 적절한 기상판단과 조종사의 비행 기술이 요구된다. 하지만 그 이전에 편류를 통제하기 위하여 노즐, 살포 압력, 항공기 종류 등 기본적인 장비를 선별하여 준비하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 다루지 못하였지만 추후 연구 사항으로 항공기 기종별, 스프레이 붐대별, 분사 압력별에 따른 공중살포 특성을 분석하는 등 더욱 세부적인 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 농림부, 밤나무해충 항공방제 효과제고 기술개발, 1차년도, 1996
- [2] 산림청, 산림병해충 항공방제 실시요령, 산림병해충방제실무교육 교재, 1995
- [3] US Patent 7277570, Method and apparatus for witness card statistical analysis using image processing techniques, US Patent Issued on October 2, 2007
- [4] Primary Industries Standing Committee, Spray Drift Management - Primary Industries Standing Committee Report 82, 2002
- [5] Flight Comment Magazine 2007 Issue 2
- [6] Strategies to reduce spray Drift, Robert E. Wolf, Extension agricultural Engineer, Kansas State University. March 2000
- [7] Aerial Application of Pesticides, Commonwealth of Australia and each of its States and Territories, 2002, Primary Industries Standing Committee Spray drift Management Principles, Strategies and Supporting Information PISC(SCARM) report 82
- [8] SPRAYpak Cotton Growers' Spray Application handbook