

# 수화제를 대상으로 한 순간희석 장치의 개발

## Development of Instantaneous Dilution Device for Wettable Powder

안 성 용\*    이 중 용\*    정 창 주\*

정회원                      정회원

S. Y. Ahn    J. Y. Lee    C. J. Chung

### 1. 서론

농약접촉사고의 유형은 살포중 접촉과 살포전, 살포후 접촉으로 구분되는데 살포전 접촉의 대부분은 농약조제 단계에서 발생한다. 현행 농약살포기술은 사전에 농약을 희석하여 사용하는 방법으로 다음과 같은 문제점이 있다.

첫째, 작업자가 직접 약제를 조제하여야 하므로, 방제작업의 효율이 떨어질 뿐 아니라, 농약 접촉사고의 우려가 있다.

둘째, 약제살포시 농약의 필요량을 정확히 예측하기 어려운 점으로 인해, 농약의 희석시에는 항상 필요량 이상의 농약을 투입하게 되며, 살포 후 남는 잔량은 대개 포장에 중복살포하거나 버려지게 되어, 농약의 낭비 와 토양 및 지하수오염이 우려된다.

이상에서 제시한 문제점의 해결방안으로 농약을 살포작업하는 동안 순간적으로 희석하는 순간희석방제기가 개발되어 있다. 기존의 순간희석방제기는 약제와 물을 순간적으로 희석하는 것으로 양액혼합장치나 관수시 액제농약을 살포하는 chemigation system 및 분방제기를 대상으로 한 액제의 직주입 장치가 있다. 작업자의 안전 및 환경보전을 위해 Borger(1987)등은, 직주입 농도제어방식을 제안하였는데, 이 방식은 농약의 양을 조절하여 희석액에 직접 주입하여 혼합하므로 작업자를 농약으로부터 분리하여 접촉피해를 최소화하고, 방제작업후 남겨진 농약원액과 표준용기는 회수되어 작업자 및 환경보호의 목적을 달성하였다. 우리나라에서는, 구영모(1996)가 분방제기에서 총유량 제어방식과 직주입 혼합방식을 혼합하여 직주입 총유량 자동제어방식의 분관방제기를 개발하였으며, 이의 제어동특성과 살포특성을 측정하여 유효성을 검증하였다.

그러나, 실제 농촌현장에서는 농약 살포시 액제는 물론 수화제, 수용제 등 분말형태의 농약을 동시에 혼합하여 살포하는 것이 일반적이므로 우리의 농촌현장에서 이러한 액제만을 대상으로 한 순간희석방제기는 실용성이 없다. 따라서, 본 연구는 분말형태와 액상의 농약을 모두 순간적으로 희석할 수 있는 순간희석방제기를 개발하기 위한 첫단계로서, 수화제를 위한 순간희석장치의 개발을 목표로 수행되었다.

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 순간희석장치의 개발단계

수화제 순간희석장치의 개발을 세부적으로 살펴보면 동력분무기의 구조 및 유량조사, 수화제 공급장치의 설계, 공급장치의 공급량 조절방법의 개발, 순간적으로 혼합하는 장치의 설계, 수화제와 함께 혼입된 공기를 제거하는 장치의 설계로 구분되며 각각의 단계는 설계요인을 검출하고 설계요인의 최적 설계치를 정하는 것으로 구성되며 최종적으로 각 부분이 하나의 시스템으로 운용되는지와 설계에서 목표한 대로 농도를 일정하게 유지하는지를 검증하는 것이다.

### 2.2 공시재료의 선택 및 계측기

실험에 쓰인 동력분무기는 분당 살포량을 기준으로 소형의 범위에 속하며, 분무봉은 3개의 노즐이 부착되어 있으며 살포각도 및 분무거리 조절이 가능한 철폄형 분무관을 장착하였다.

수화제는 D사에서 생산하는 수화제의 증량제와 계면활성제로서 유효성분을 가지고 있지 않았다. 증량제의 원료는 pyrophyllite, 계면활성제의 원료는 NK-NX 250r이며, 증량제와 계면활성제의 증량비는 6:1이었다.

수화제의 배출량과 분무량 측정은 시간당 수화제(혹은 분무액)의 무게로 측정하였으며, 압력은 Bourdon압력계와 Dwyer경사마노미터(Model No. MM400)를 이용하여 측정하였다. 분무액의 공간적인 농도분포 분석은 패터네이터 위에서 살포하여 패터네이터의 각 위치별로 살포된 용액을 채취하여 농도를 측정하였다. 분무액의 농도 측정은 근적외선 분광분석계(NIR Spectrophotometer)를 이용하여 용액속에 분포하는 수화제의 양을 측정할 수 있는 방법을 개발하여 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 동력분무기의 구조와 유량특성

동력분무기는 H사의 모델명 HJ DS-40K로, (그림 3-1)과 같은 구조를 가지며, 펌프와 배관부, 노즐로 구성된다. 분무량은 입수유량과 출수유량, 여수유량을 대상으로 측정하였으며, 측정결과는 (그림 3-2)와 같다.

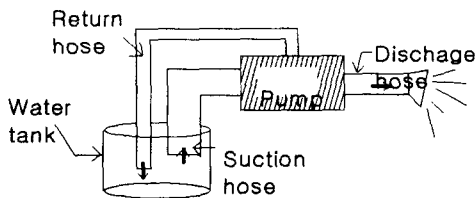


Fig 3-1. Appearance of sprayer

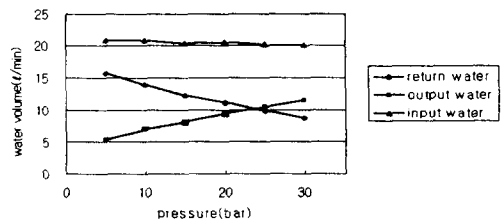


Fig 3-2. Relation of water volume according to pressure of sprayer

### 3.2 수화제 회석장치의 전체구조 설계

수화제 회석장치는 분말공급장치와 약제혼합부, 세척관, 직렬혼합기, 기포제거장치로 구성되며, 전체적인 구조 및 각 장치의 설치위치는 (그림 3-3)과 같다.

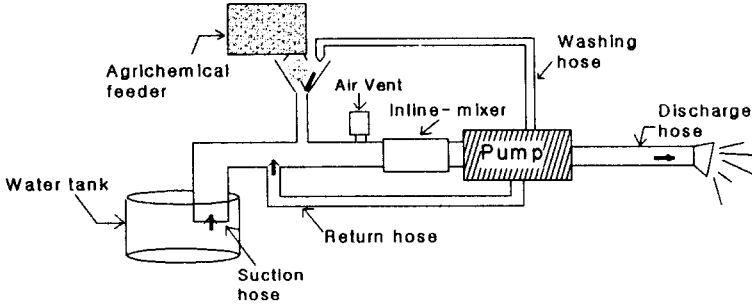


Fig 3-3. Schematic representation of instantaneous dilution sprayer

### 3.3 분말공급장치의 설계

#### 3.3.1 공급방식과 구조의 결정

분말공급장치는 분말상태로 되어있는 약제를 시간당 일정량만큼 약제혼합부로 투입시키기 위한 장치로, 본 연구에서는 정확한 배출량을 얻기 위해, 스크류에 의한 이송방법을 택하였으며, 스크류의 형상은 강선을 나선형으로 감은 형태로 선정하였다. 스크류를 구동하는 모터는, 대부분의 농용원동기에서 12V 전압을 사용하므로, 이에 적용 가능하도록 12V 모터를 선정하였다. 분말공급장치의 대체적인 형상은 (그림 3-4)와 같다.

#### 3.3.2 분말배출량의 결정

설정농도를 1/1000로 정하였을 때, 분말배출량은 송출유량의 1/1000로 결정할 수 있다. 분무기의 압력별 송출유량을 측정함으로써, 압력에 따른 분말배출량을 구할 수 있으며, 그 결과는 (그림 3-5)와 같다.

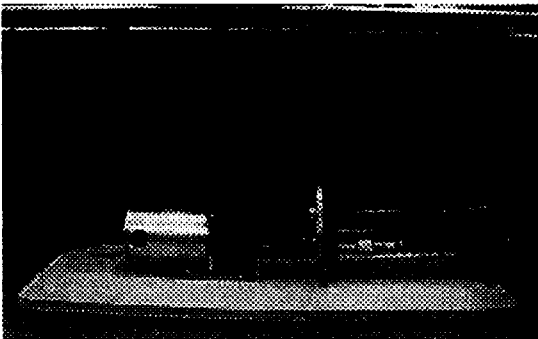


Fig 3-4. Appearance of powder feeder

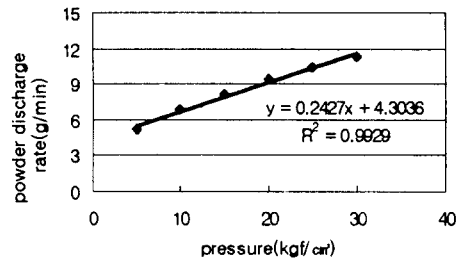


Fig 3-5. Regression curve of powder discharge rate to spraying pressure

### 3.3.3 분말배출량의 조절

약제배출장치에서, 배출량을 결정하는 인자로는 모터의 회전수와, 스크류의 피치와 직경, 시료의 밀도, 시료의 다짐정도가 있으며, 이에 따라, 배출량은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \rho \varphi \left[ \frac{\pi D_s^2 L_s}{4} - \frac{\pi D_i^2}{4} \times \frac{\pi D_s}{\cos(\arctan \frac{L_s}{\pi D_s})} \right] N \quad (3-1)$$

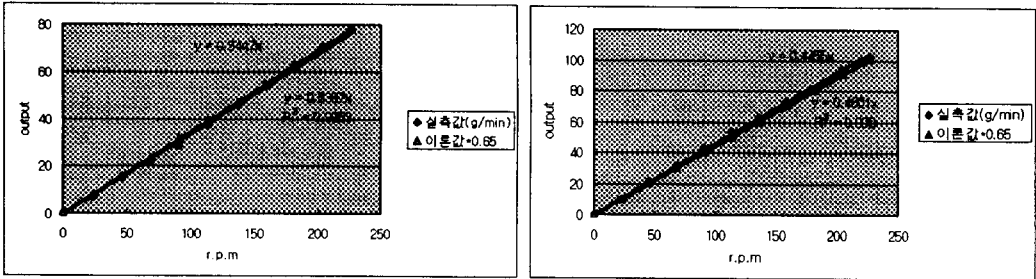
위에서,  $\rho$  : 시료의 밀도 (g/cm<sup>3</sup>)     $\varphi$  : 부하인자

$L_s$  : 스크류의 피치(mm)     $D_s$  : 스크류의 직경 (mm)

$D_i$  : 철심의 직경 (mm)     $N$  : 회전수 (rev/min)

위 식에서, 스크류의 직경은 14.3mm, 철심의 직경은 2mm로 선정하였으며, 시료의 밀도는 측정결과 0.646g/cm<sup>3</sup>의 값을 얻었다.

스크류의 피치를 1차적으로 4.5, 6.0, 7.5mm로 선정하여 배출량을 측정하였을 때, 그 결과를 나타내면 (그림 3-6)과 같다. 피치 4.5mm에서는 분말이 스크류 내부에서 과도하게 밀집하여, 불규칙한 배출특성을 나타내, 측정결과에서 제외하였다.



a) pitch of screw = 6.0mm

b) pitch of screw = 7.5mm

Fig 3-6. Relation of volume of output material and voltage of motor operation.

(그림 3-6)의 측정결과는 분말배출량을 모터의 회전수 변화에 따라 측정한 값으로, 직선적인 관계를 보였으며, 다음과 같은 회귀식으로 나타낼 수 있다. 또한, 측정결과를 이론식과 비교하여, 부하인자를 0.65로 결정하였다.

$$m1 = 0.3387s$$

$$m2 = 0.4601s \quad (3-2)$$

여기에서,

m1: 피치 6.0mm에서의 배출량(g/min)

s: 모터의 회전수(r.p.m)

m2: 피치 7.5mm에서의 배출량(g/min)

### 3.4 기타 장치의 설계

약제 혼합부는 약제배출장치로부터 공급되는 약제를 입수관으로 유도하는 부분으로, 혼합부 바닥면에 떨어진 약제를 세척하기 위해 세척관을 약제 혼합부에 연결하였다. 유량은 세척관과 흡입쪽 연결관의 밸브를 조절하여, 적정수준을 유지하였다.

관의 단면에서 균일한 농도를 갖도록, 흡입관에 직렬 혼합기(그림 3-7)를 연결하여, 약제의 혼합을 유도하였는데, 이것은 난류의 발생을 이용한 것으로, 동력이 전혀 필요하지 않는다는 특징을 갖는다. (그림 3-8)는 기포제거장치의 구조를 나타낸 것이다.

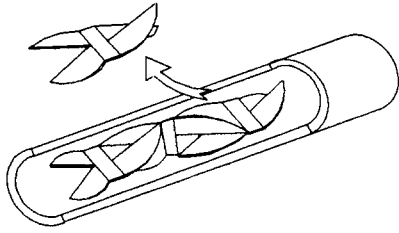


Fig 3-7. Shape of the inline mixer and element of the mixer

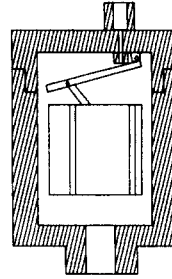


Fig 3-8. Shape of air-vent

### 3.5 분무농도의 시간적, 공간적 분포에 대한 균등도 검정

분무용액을 분광분석기를 이용하여, 농도에 따라 흡광도 스펙트럼을 구하였을 때, 스펙트럼의 높이가 농도에 비례하였다. 이로부터, 스펙트럼의 면적과 농도사이의 회귀식을 구하면 다음과 같다(안성용 외 2인, 1999).

$$i = 94195C + 35.01 \quad (3-3)$$

여기에서, C: 시료의 농도(g/ml)  
i: 스펙트럼의 적분값

분말회석장치를 탑재한 분무기의 분무액이 시간의 변화에 대해 균일한 농도분포를 갖는지 확인하기 위해, 일정용기에 5초 간격으로 연속적으로 15번을 취수하여, 취수액의 농도를 확인하였다. 채취한 시료의 농도평균은 기준농도인 1/1000과 -1.69%의 차이를 나타내며, 변이계수(C.V)는 11.10%로, 살포액의 농도가 초기설정 농도를 비교적 만족하는 범위에 있다고 볼 수 있다. 분무액의 공간적인 농도분포 분석은 패터네이터 위에서 살포하여 패터네이터의 각 위치별로 살포된 용액을 채취하여 농도를 측정하였다. 채취한 시료의 농도평균은 설정농도와 +1.37%의 차이를 가지며, 변이계수(C.V)는 10.55%로, 분무액의 농도가 초기설정 농도를 비교적 만족하는 범위에 있다고 볼 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

수화제를 살포와 동시에 회석시키는 분말회석장치를 개발하였으며, 주요한 결론은 다음과 같다.

1. 수화제를 위한 분말순간회석장치를 개발하였으며, 그 구성은 분말공급장치와 약제혼합부, 기포제거장치 및 직렬혼합기와 세척관으로 이루어진다.
2. 분말공급장치는 모터에 의한 스크류 이송으로 약제를 공급하며, 스크류 및 철심의 직경을 14.3mm와 2mm로 고정했을 때, 피치는 6.0mm에서, 적절한 배출범위를 나타내었다.
3. 약제혼합부는 세척관과 흡입측 연결관의 밸브를 조절하여, 적절한 유량수준을 유지하도록 하였으며, 직렬혼합기는 관내부에 설치한 안내구조물로 난류를 유도하여 회석액의 혼합을 도왔다. 기포제거장치는 상용의 것을 사용하였으며, 주입공기의 25.3~34.0%에 해당하는 기포가 배출되어, 이의 개선이 요구되고 있다.
6. 분무액의 농도는 흡광도를 측정하여 구하였으며, 흡광도 스펙트럼의 적분값과 농도와의 회귀식은 다음과 같다. 적용가능한 농도범위는 0~0.002g/ml이고,  $R^2$ 값은 0.996이다.

$$i = 94195C + 35.01$$

여기에서, C: 시료의 농도(g/ml)

i: 스펙트럼의 적분값

7. 분무액의 시간적, 공간적 분포에 대한 설정농도의 검정에서 측정농도의 평균값은 설정농도와 비교했을 때, -1.69%의 차이를, 변이계수(C.V)는 11.10%로 나타났으며, 공간적 분포에 대한 검정에서는, 평균에서 +1.37%의 차이를, 변이계수(C.V)에서 10.55%의 크기를 갖는 것으로 나타나, 설정농도를 비교적 만족한다고 보았다.

#### 5. 참고문헌

1. 구영모. 1996. 직주입 총유량 자동제어방식 분관방제기 개발. 한국농업기계학회지 21(2) : 144-152.
2. A.Defirmencioglu, A.K.Srivastava - Development of Screw Conveyor Performance Models Using Dimensional Analysis
3. Sudduth, K.A., Borgelt, S.C. and Hou, J. 1995. Performance of a chemical injection sprayer system. Applied Engineering in Agriculture. 11(3) : 343-348.
4. Rockwell, A.D., Ayers, P.D., A variable rate direct nozzle injection field sprayer. Applied Engineering in Agriculture. 12(5) : 531-538.
5. Tomkins, F.D., Howard, K.D., Mote, C.R., Freeland, R.S. Boom flow characteristics with direct chemical injection. Transaction of the ASAE. 33(3) : 737-743.
6. 안성용, 이중용, 김영주. 1999. 분광분석기를 이용한 수화제용액의 농도 측정. 한국농업기계학회 동계학술대회 발표집