

# 컴퓨터 시각에 의한 분무입자 크기와 분무량 측정법 개발

## Development of a Method to Measure Droplet Size and Spray Deposition Using Computer Vision

서상룡\* 김태환\* 성제훈\* 정종훈\* 유수남\*  
S. R. Suh T. H. Kim J. H. Sung J. H. Chung S. N. Yoo

### Summary

A computer vision system consisted of a microscope, a CCD camera, a frame grabber and a personal computer was used to analyze spraying pattern. An algorithm was developed for the system to measure size of droplets including overlapped droplets, to count number of droplets, and to estimate spray deposition in a certain area from the data obtained. A series of experiment was carried out to test validity of the algorithm. The experiment resulted that accuracy of the droplet size measurement, accuracy of counting the number of droplets and the estimation of spray deposition were within an acceptable range. It was concluded from the results that the computer vision system operated by the developed algorithm is very useful tool to analyze spraying pattern.

### 1. 서론

작물 제베작업 중 병충해 방제용 약액의 살포나 스프링클러에 의한 살수는 비교적 자주 수행하는 중요한 작업이다. 이러한 작업의 양과 질은 살포한 분무입자의 크기별 분포와 분무입자의 거리별 살포량(또는 분무량)에 의해 좌우되므로, 분무입자의 크기와 거리별 분무량을 분석하기 위한 여러가지 방법이 개발되어 왔다.

분무입자의 크기를 측정하는 일반적인 방법은 주로 시각적인 방법으로서 측정할 분무입자 시료를 종이나 기름 등에 받은 후 그 영상을 일정 배율로 확대한 사진을 찍어 그 크기를 캘리퍼스 등으로 측정하는 것이다(이상우; 1993, 김명

규; 1994). 최근에는 이러한 분석을 컴퓨터 시각을 이용한 영상처리 기법에 의해 수행하는 방법이 여러 연구가에 의해 개발되고 있는데, 이 방법은 분무입자 크기를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 측정된 분무입자 크기에 관한 자료로부터 분무량 또한 산출할 수 있는 장점이 있다.

컴퓨터 시각을 분무 분석에 이용한 연구 결과를 보면, Sistler 등(1982)은 분무입자의 크기와 분포를 분석하는 알고리즘을 개발하고 검증한 결과 분무입자의 분포는 용이하게 파악할 수 있으나 분무입자의 절대 크기를 정확하게 측정할 수는 없었음을 보고한 바 있다. Kranzler 등(1985)이 개발한 알고리즘은 임계화소값(threshold pixel value)을 자동으로 설정하므로써 조명도의

\* 전남대학교 농과대학 농공학과

차이에 따른 오차를 줄여서 분무의 크기를 결정하는 것이었으나 모든 경우에 있어 항상 최적 임계화소값을 찾을 수가 없을 뿐만 아니라 임계화소값에 따라 측정량의 정밀도(accuracy)에 차이가 있음을 보고한 바 있다.

한편 Last 등(1987)은 분무량 분석을 위하여 감수지(water-sensitive paper)를 사용하는 저렴한 비용의 영상처리 장치와 관련 프로그램을 개발한 바 있는데, 개발한 프로그램은 접친 입자를 분석할 수 있는 것이었다. Sagi와 Derksen(1991)은 컴퓨터 시각의 영상처리 알고리즘을 개발한 다음 실험한 결과를 분광분석기(spectrophotometer)로 분석한 결과와 비교한 결과 선형회귀 관계가 있음을 밝힌 바 있다. 최근 Franz(1993)는 감수지에 분무시료를 받은 후 이를 컴퓨터 시각에 의해 분석하는 알고리즘을 개발한 후 이의 타당성을 실험한 결과 컴퓨터 시각영상의 적정한 확대 배율과 명암 조정으로 분무입자의 크기나 그 숫자를 1~2 %의 오차수준에서 측정 및 계수할 수 있음을 보고한 바 있다.

본 연구자는 이상의 연구결과를 기초로 하여 이상 여러가지 연구의 특징과 장점을 종합한 분무입자 분석용 하드웨어와 소프트웨어를 개발하고자 하였다. 이에 따라 본 연구는, 첫째 접친 분무입자를 포함하여 분무입자의 절대 크기를 측정할 수 있는 하드웨어를 구성한 후 이의 알고리즘을 개발하고, 둘째 실험을 통하여 개발한 알고리즘의 분무입자 분석의 정확도와 정밀도를 파악하고, 분무입자 수의 계수 능력을 조사하며, 이러한 자료로부터 단위면적당 분무량을 산출한 후 이를 직접 계량한 값과 비교하는 방법으로 개발한 알고리즘의 정당성을 입증하기 위하여 수행하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 가. 실험장치

분무입자의 크기는 그 직경이 수  $\mu\text{m}$ 으로 부터

수 mm 범위의 것으로서 본 연구에서 이러한 분무입자를 분석하기 위하여 사용한 컴퓨터 영상처리장치는 그림 1과 같이 현미경 영상을 처리할 수 있는 하드웨어로 구성하였으며, 본 영상처리장치 구성 요소들의 제작회사 및 모델은 표 1과 같다.

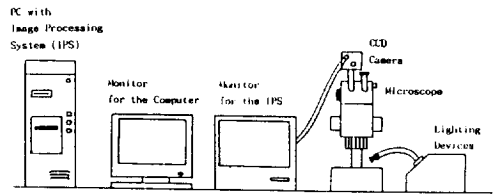


Fig. 1 Computer vision and image processing system for the analysis of sprayed droplets

Table 1 Maker and model of elements of the computer vision system

Elements	Maker and Model
Computer	IBM 486 DX (33MHz)
Frame Grabber	Imaging Technology Co. ; model CFG
Monitor	Electrohome Co. ; model ECM311
Camera	Kukjae Elec. Co. ; CCD camera model IVC-841
Microscope	Olympus Optics Co. ; model SZH
Lighting Device	Olympus Optics Co. ; model LGPS

실험에 사용한 카메라는 영상처리용 흑백 카메라인 반면 frame grabber는 컬러 영상처리용의 것이나 이는 흑백 영상의 처리도 가능한 것이었다. 조명기구는 광섬유를 사용한 해부 현미경 전용의 국부 조명기구로서 광도를 조절할 수 있는 것이었다. 본 연구의 모든 실험에서는 약 100 klux의 조도를 적용하였는데 이는 예비실험 결과로부터 결정한 것이다.

본 연구에서는 분무상태 분석을 위한 분무시료를 얻는 방법으로서 특수 용지를 사용하였는데 이는 물에 의해 착색되는 감수지(water-sensitive paper : Ciba-Geigy Co. ; 1990)로서 Last 등(1987)과 Franz(1993)가 분무 분석목적으로 이용한 감수지와 동질의 것이었다. 본 감수지를

사용한 이유는 분무입자의 크기 측정은 물론 분무의 분포 상태를 분석할 수 있는 분무시료를 용이하게 얻을 수 있었기 때문이다.

나. 실험방법

본 연구에서는 위에서 설명한 장치(분무분석장치)의 분무분석용 알고리즘을 개발한 다음 그의 성능을 실험하였다. 실험은, 첫째 개발한 컴퓨터 영상처리 장치의 길이 측정의 정밀도와 정확도를 조사하는 실험 <실험 1>, 둘째 분무입자 크기 측정시 겹친 입자들의 판별법과 그에 따른 입자 크기 측정 실험 <실험 2>, 셋째 분무입자 계수의 정밀도에 관한 실험<실험 3>, 그리고 넷째 개발한 컴퓨터 영상처리장치에 의한 분무량 산출시 그의 정밀도를 파악하기 위한 실험<실험 4>으로 구분하여 수행하였다.

<실험 1>은 첫째 구성한 컴퓨터 영상처리 장치의 영상으로부터 이치화상(binary image)을 얻기 위한 임계화소값을 변화하여 그에 따른 분무입자 크기 측정의 정밀도와 정확도를 조사하기 위한 실험과, 둘째 분무입자 크기 측정의 정밀도와 정확도를 영상 화면 각 위치별로 조사하여 본 영상처리 장치 전화면의 전반적 정밀도와 정확도를 조사하는 내용으로 수행하였다.

1	2	3	4	5
	6	7	8	9
		10	11	12
			13	14
				15

Fig. 2 Position of 15 sections of an image frame investigated

임계화소값을 변화하며 수행한 실험은 작도한 직경 4320  $\mu\text{m}$ (버니어 캘리퍼스로 5회 측정값의 평균치임) 원의 직경을 대상으로 5가지의 임계화소값(100, 105, 110, 115, 120)을 적용하여 10회 반복 측정하는 방법으로 수행하였다.

컴퓨터 시각 영상 화면의 각 위치별 길이 측정의 정밀도와 정확도 실험은 그림 2와 같이 영상화면을 15개소로 분할하여 화면의 각 위치에서 원의 직경을 측정하는 방법으로 수행하였다. 실험은 작도한 직경 890  $\mu\text{m}$ (측정방법은 위와 같음)의 원을 이용하여 3반복 측정하는 방법으로 수행하였다.

<실험 2>는 직경 2360  $\mu\text{m}$ , 1260  $\mu\text{m}$ (측정방법은 위와 같음)인 두개의 원을 4가지 종류의 겹침상태로 작도한 표본에 대하여 이들을 본 실험장치에 의해 그 겹침 유무를 판정한 다음 각 경우별로 원의 직경을 측정하는 방법으로 수행하였다.

겹친 분무입자의 판정과 그 직경 측정은 컴퓨터 시각 화면상에서의 겹침 방향에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 위에서 사용한 표본 중 2가지 표본에 대하여 화면저변을 기준으로 하여 겹침방향을 0°, 45°, 90°, 135°로 변화하며 3 반복 실험하였다.

<실험 3>은 5 mm×5 mm 분석영역내에 50~500  $\mu\text{m}$  크기의 분무입자가 20~30개 있는 11종의 표본에 대하여 그 입자수를 계수하는 방법으로 수행하였다.

<실험 4>는 본 분무분석장치에 의한 분무량 측정의 정밀도를 파악하기 위한 실험으로서 2종의 스프레이어를 이용하여 분무시간을 다르게 하여 각각 다른 크기의 분무량 시료를 얻은 후 이를 전자 정밀저울을 사용하여 측정한 값과 비교하는 방법으로 수행하였다. 본 실험에 사용한 전자 정밀저울은 Satorius Research사의 모델 R160P(분해능 : 1 mg)이었다. 감수지에 살포된 분무량은 분무살포 전과 후에 감수지의 무게를 측정하므로써 구하였다. 분무를 살포한 감수지는 곧바로 그 무게를 측정하므로써 (분무살포와 무게

측정의 시차는 1~2초 정도였음) 감수지에 살포한 분무입자의 증발에 따른 무게 측정오차를 최소화 하도록 하였다.

### 3. 영상처리 알고리즘 개발

컴퓨터 영상처리장치를 이용하여 분무입자의 크기 측정과 분무의 분포상태를 분석하기 위해 개발한 알고리즘은 다음과 같다.

#### 가. 분무입자 크기 분석

감수지에 흡착된 분무입자의 형상은 현미경을 통하여 확대되어 컴퓨터 영상처리 장치로 입력된다. 현미경 확대전 감수지 실제 면적 5 mm×5 mm은 현미경의 배율이 7.5인 경우 본 연구에서 사용한 컴퓨터 시각의 한 영상 화면의 약 3/4를 차지하므로 이는 본 영상분석에 적당한 크기였다. 이에 따라 본 분석 알고리즘은 감수지의 전 면적을 5 mm×5 mm (이하 분석영역이라 칭함)의 단위로 나누어 분석하도록 하였다.

컴퓨터 영상처리장치에 입력된 영상정보는 여러 가지 정보가 혼합되어 있으므로 입력된 전체 영상정보 중에서 분무입자에 관한 정보만을 분리(segmentation)해야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 위에서 설명한 바와 같이 임계화소값 방법을 택하여 이를 기준으로 입력된 영상의 각 화소값을 먼저 Input Look Up Table을 통하여 분무입자 영역과 그 외의 영역으로 구분하는 전 처리과정을 두었다.

분무입자 영역으로 결정된 영역 중 그 영역의 크기가 10개 미만의 화소로 이뤄진 미소한 크기의 영역은 영상정보의 잡음에 의해 형성된 것이거나 대단히 미소한 분무입자의 것이었다. 잡음에 따른 분석의 오차를 줄이기 위하여 본 연구에서는 분무입자 영역으로 결정된 이러한 미소한 영역을 면밀히 검토하였다. 그 결과 이러한 미소 영역은 그 크기가 매우 적어 분무입자가

아닌 것으로 간주해도 분무 분석에 주는 영향이 미소할 뿐만 아니라 다음에 설명한 겹친 분무입자 분석이 불가능하여 본 연구에서는 이러한 크기의 영역은 분무입자가 아닌 것으로 하였다. 화소수가 9개인 영역의 화소가 3×3으로 배열되었을 경우, 컴퓨터 시각영상에서 하나 화소의 실제 수평길이나 수직길이를 고려하면, 그 한 번의 실제 길이는 크게는 50.52 μm이고 작게는 41.76 μm에 해당한다. 이는 차후에 설명할 감수지 보정계수(spread factor)를 고려하면 3×3으로 배열된 미소영역의 실제길이는 약 25 μm 또는 21 μm가 된다. 따라서 본 컴퓨터 영상처리장치에서 분석한 분무입자의 최소 직경은 25 μm이었다.

분무입자로 판단된 영역 중 일부는 분석영역의 경계에 위치하는 것이 있다. 이러한 분무 영역들의 분석영역내 포함 여부 판정을 위하여 본 연구에서는 분석영역 경계에 위치한 분무입자 영역의 도심을 구하여 그 도심의 분석영역내 존재 여부로 판단하였다.

감수지에 흡착된 분무입자의 형상은 대체로 원형에 가까우나 분무입자가 2개 혹은 그 이상 겹쳐있을 경우 그 형상은 매우 다양해진다. 본 연구에서는 다양한 겹친 입자의 형태를 분석한 결과 겹친 입자의 수가 3개 이상일 경우에도 대부분 겹친 입자의 형태는 하나의 입자 또는 2개 입자가 겹쳐 있는 것 처럼 보이므로 결과적으로 분무입자의 겹침 여부는 2개 입자 겹침 여부만의 판정으로 충분함을 알 수 있었다.

두개 입자가 겹쳐 있을 경우 그 형태는 겹친 두개 입자의 직경과 겹친 두개 입자 중심간의 거리에 따라 다양하다. 그런데 겹치지 않은 분무입자의 형태는 원에 가까우나 타원의 형상인 입자도 흔히 관찰할 수 있어 어떤 분무 입자는 겹친 것이 아니지만 겹친 입자로 오인될 수 있다. 본 연구에서는 분무입자의 겹침 여부를 판별하기 위하여 입자의 형상을 다음과 같이 정의되는 k 값으로 단순화하여 나타내도록 하였다. 즉 k 값은  $k = l_{max}/l_{min}$ 으로 산출한 것인데, 여기서  $l_{max}$ 와  $l_{min}$ 은 그림 3에서 보인 바와 같이 반경

이 각각  $r_1$ 과  $r_2$ 인 2개의 원이 겹쳐서 구성하는 형상의 도형 중심(c)으로 부터 그 외곽까지의 최대길이가와 최소길이다.

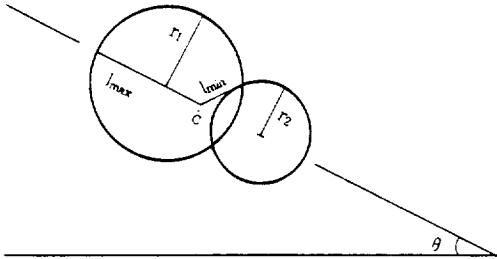


Fig. 3 Variables to specify condition of droplets in contact

위에서 정의한 k 값은 겹쳐있는 두 입자간의 직경비가 클 수록 그리고 두 입자의 중심이 가까울 수록 즉 겹침정도가 심할 수록 작아지게 된다. 두 입자의 중심이 가까운 겹친 입자의 형상은 두 입자간의 직경비가 클 수록 타원형의 단일 입자의 형상과 비슷하다. 따라서 단일의 k 값으로 다양한 형상과 크기를 갖는 입자들의 겹침여부는 판별할 수 없다. 본 연구에서는 다양한 입자의 형상을 조사하여 입자 겹침 여부를 판별하는 임계 k 값을 두 입자의 직경비에 따라 표 2와 같이 직경비 구간별로 결정하였다. 분무입자의 겹침 여부가 결정되면 그 결과에 따라 입자 영역의 직경을 구하였다.

Table 2 Critical value of k to check overlapped droplet

Diameter of Larger Droplet( $D_1$ )	Diameter of Smaller Droplet( $D_2$ )	Diameter Ratio ( $D_1/D_2$ )	Critical k
10.0	8.75	1.14	1.80
	7.50	1.33	1.72
	6.25	1.60	1.64
	5.00	2.00	1.56
	3.75	2.67	1.40
	2.50	4.00	1.29

공간에서 구형의 분무입자는 감수지에 낙하 후 평면상이 되므로 그 크기는 실제의 분무입자 직경보다 크게 나타난다. 본 실험에서 사용한 감

수지는 감수지에 흡착한 평면상 물 입자의 직경(stain diameter of droplet)으로 부터 감수지 제작회사(Ciba-Geigy Co. ; 1990)에서 제공한 표 3과 같은 보정계수(spread factor)를 적용하여 실제 구형의 분무입자의 직경(actual droplet diameter)을 구할 수 있다. 본 알고리즘에서는 위에서 설명한 과정에 따라 입자 영역의 직경을 구한 후 이를 보정계수로 나누어 실제 입자의 직경을 구하였고, 이 직경을 이용하여 그 분무입자의 단면적과 체적을 구하였다.

Table 3 Spread factors for water to determine actual droplet diameter

Stain Diameter of Droplet( $\mu\text{m}$ )	Spread Factor	Actual Diameter of Droplet( $\mu\text{m}$ )
1 0 0	1. 7	5 9
2 0 0	1. 8	1 0 9
3 0 0	1. 9	1 5 5
4 0 0	2. 0	2 0 0
5 0 0	2. 0	2 4 3
6 0 0	2. 1	2 8 5

#### 나. 분무 분포 특성 분석

이상과 같은 방법으로 분석영역 내에 있는 모든 분무입자에 대한 분석이 끝나면 그 분석영역 내에 있는 총분무입자수, 체적평균직경(volume mean diameter :  $D_{30}$ ), 체적중위직경(volume median diameter :  $D_{0.5}$ ), 분무낙하율을 다음과 같은 그 정의에 따라 계산하였다.

체적평균직경과 체적중위직경은 분무입자의 크기를 나타내는데 일반적으로 사용하는 대표값인데, 체적평균직경은 분석영역에 있는 모든 분무입자의 실제 직경을 3승하고 그 총합을 구한 후 그 총합을 분석영역 내 입자수로 나누어 계산한 값을 1/3승한 것이다. 그리고 체적중위직경은 분석영역 내에서 입자영역의 체적을 크기 별로 나열한 후 누적 체적이 50 % 되는 지점을 내삽법으로 구한 후 그 값을 1/3승하여 구한다(Srivastava 등 ; 1993).

감수지에 낙하한 분무입자의 수는 일반적으로

분두에서의 거리가 멀어질 수록 적어지는 경향이 있어서 경우에 따라서는 분석영역내에 1개 또는 2개의 입자만 낙하하는 경우가 있었다. 분석영역내에 입자가 1개만 낙하한 경우는 그 입자의 직경을 체적평균직경과 체적중위직경으로 판단하였으며, 분석영역내에 2개의 입자만 낙하한 경우는 두 입자의 산술평균을 체적평균직경과 체적중위직경으로 판단하였다.

분무낙하율은 측정된 입자의 직경을 위에서 설명한 보정계수에 의해 보정한 후 이로부터 각 입자의 체적과 그 총합을 구한 후 입자 체적의 총합을 분석영역의 면적으로 나누어 구하며 이는 분무의 분포 상태를 파악하는데 필요한 주요 지표이다.

실험에서 사용한 감수지의 크기는 76 mm×26 mm로서 앞에서 설명한 분석영역(5 mm×5 mm)의 단위로 분석할 경우 하나의 감수지에 대하여 10개소 정도 분석하면 한 감수지의 분무입자의 크기와 분포를 대체로 파악할 수 있었다. 이에 따라 각 감수지는 10개소의 분석영역에서 분무입자수, 체적평균직경, 체적중위직경, 분무 낙하율을 반복 분석한 다음 이에 대한 산술평균과 변이계수(CV값)를 구했다. 그리고 하나의 감수지에 흡착된 분무입자의 직경별 분포를 분석하기 위하여 위에서 분석한 10개소 분석영역의 모든 입자를 대상으로 입자 직경을 0 부터 2000 μm까지 200 μm단위로 구분하여 구간별 입자의 수를 분석(분무 크기 스펙트럼 분석)하였다.

이상의 과정을 거쳐서 각 위치별 하나의 감수지가 분석되고, 하나의 분두에 대해서는 분무 위치별로 배치한 여러 개의 감수지에 대하여 이상의 과정을 반복하여 분석하였다. 하나의 분두에 대한 분무입자를 종합 분석하기 위하여 본 알고리즘은 위에서 분석한 모든 분무입자에 대해 0 부터 2000 μm까지 200 μm 단위로 구분하여 구간별 입자의 수와 그 백분율을 계산하였고, 500 μm 미만의 입자들에 대해서는 별도로 이들을 50 μm 범위로 세분하여 구간별 입자의 수와 백분율을 계산하여 입자직경의 크기별 분포를 구하

도록 하였다. 이상의 모든 분석 결과는 컴퓨터 모니터에 출력함과 동시에 디스켓에 저장하도록 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. 단일 입자의 크기 측정

컴퓨터 시각 영상에서 하나의 화소로 나타나는 영상의 실제 길이는 컴퓨터 시각에 의한 길이 측정시 가장 기본이 되는 측도이다. 그리고 이 측도의 정확도에 따라 컴퓨터 시각으로 측정된 값의 정확도가 좌우된다. 본 연구에서는 위에서 설명한 현미경 배율 7.5에 대하여 수직 회에 걸친 반복 실험을 통하여 이 측도를 결정하였다. 그 결과 본 연구에서 사용한 영상처리 장치의 경우, 시각영상에서 하나 화소의 실제 수평길이와 수직길이는 각각 16.84 μm와 13.92 μm인 것으로 판명되었으며 이에 따른 화소의 종횡비(aspect ratio)는 0.82660으로 나타났다.

5종의 임계 화소값을 적용하여 구한 이치 화상으로 부터 분석한 길이 측정값의 정확도와 정밀도를 조사한 <실험 1>의 첫째 실험결과는 표 4와 같다. 표에 의하면 실험한 5종의 임계 화소값의 경우, 측정값의 변이계수(coefficient of variance)는 0.44 % 이하의 매우 낮은 값으로서 본 장치에 의한 길이 측정의 반복에 따른 변이는 매우 낮은 수준임을 알 수 있었다.

Table 4 Statistics for the observations of the sample diameter at various threshold grey level

	Threshold Grey Level				
	100	105	110	115	120
Mean	4295	4308	4306	4309	4336
S.D.	9.22	11.66	15.62	11.36	19.01
CV(%)	0.215	0.271	0.363	0.264	0.440
Accu.(%)	0.93	0.69	1.16	0.69	1.16
Prec.(%)	0.35	0.42	0.84	0.49	0.78

표에서 명시한 측정량의 정확도와 정밀도는 이후 본 논문에서 설명한 정확도와 정밀도와 마찬가지로 다음의 식(1)과 식(2)에 의해 구한 것이다.

$$Acc = |X_d - X_t| / X_t \dots\dots\dots (1)$$

$$Prec = |X_m - X_t| / X_m \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

Acc = 정확도

Prec = 정밀도

$X_d$  = 측정값 중 최대 또는 최소치

$X_t$  = 측정 길이의 진치

$X_m$  = 관측값의 평균

컴퓨터 시각에 의해 길이를 측정할 경우 측정값의 정확도와 정밀도는 배열된 화소 격자내에 피측정체 영상의 경계가 놓인 위치에 큰 영향을 받는다. 즉 피측정체 영상의 경계는 화소의 경계와 보통 일치하지 않으므로 피측정체의 경계는 그 영상이 화소 임계값에 의해 2차 화상으로 변환될 경우 피측정체의 영상에 포함되거나 또는 포함되지 않을 수도 있다. 컴퓨터 시각 영상이 임계화소값에 의해 2차 화상으로 변환될 경우 물체 영상의 각 경계 화소는 변환 전 그 경계 화소 영역에 피측정체에 관련된 내용이 50% 이상을 차지할 경우 그 경계 화소는 물체의 영상에 포함하게 된다. 따라서 컴퓨터 시각에 의해 길이를 측정할 경우 경계 화소가 물체 영상에 포함되는가의 여부에 따라 나타나는 오차는 물체 영상 한쪽 경계에서는 하나의 화소가 나타내는 실제 길이의 1/2, 그리고 물체 영상 양쪽 경계에서는 하나 화소의 실제 길이가 된다. 따라서 분무입자와 같이 그 경계 양면이 다 포함되는 물체의 크기를 컴퓨터 시각에 의해 측정할 경우 하나 화소의 실제 길이는 피할 수 없는 측정 오차가 된다. 컴퓨터 시각에 의한 길이 측정시 불가피하게 발생하는 이러한 화소 하나의 실제 길이 때문에 위에서 정의한 측정의 정확도와 정밀도는 피측정길이의 장단에 따라 그 기본 크기가 결정된다. 본 연구에서는 이렇게 불가피하게 발생하는 화소 하나 길이의 측정 오차를 이 측정방

법의 기본 오차로 판단하고, 이 오차의 크기는 다음 식에 의해 무차원 형태의 기본오차율로 정의하였다.

$$E_{min} = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

$E_{min}$  = 컴퓨터 시각에 의한 길이 측정시 불가피한 기본오차율

$L_p$  = 화소 하나의 실제 길이

$L_m$  = 피측정 길이

컴퓨터 시각에 의한 길이 측정시 관측값의 변이계수와 정확도 및 정밀도는 위에서 설명한 바와 같이 피측정체 길이에 따라 그 크기가 크게 좌우되므로 여기서 정의한 기본오차율을 길이 측정의 정확도와 정밀도를 상대적으로 비교하는 수단으로 사용하는 것이 바람직하다. 즉 컴퓨터 시각에 의한 길이 측정시 측정의 정확도와 정밀도는 본론에서 정의한 기본오차율의 배율로 비교하는 것이 타당하다.

<실험 1>에서 사용한 표본(직경 4320  $\mu\text{m}$ )의 원에 대하여 그 기본오차율을 구한 결과 0.39%였다. 표에서 보인 실제 측정값의 정확도는 이 기본오차율의 1~3배의 크기로서, 이는 높은 정확도를 예상하기 어려운 분무입자 크기 측정에 있어 만족할 만한 수준이다. 그리고 표에서와 같이 임계화소값에 따른 정확도와 정밀도의 차이는 별로 크지 않으므로 본 실험장치에 의한 길이 측정시 실험에 적용한 임계 화소값 범위는 타당함을 알 수 있었다.

Table 5 Statistics for the observations of the sample diameter at various position of an image frame

	Replication		
	1	2	3
Mean	879	883	879
S.D.	14.36	13.98	11.81
CV(%)	1.63	1.63	1.34
Accu.(%)	4.28	3.15	4.28
Prec.(%)	3.49	3.02	3.34

화면 위치별로 임의 표본을 대상으로 그 크기를 컴퓨터 시각에 의해 측정하여 분석한 결과는 표 5와 같다. 실험결과 측정값의 변이계수는 1.34~1.63% 로서 위에서 설명한 실험결과의 3~8배 크기이고, 정확도와 정밀도는 각각 3.2~4.3%, 3.0~3.5% 범위로서 위에서 설명한 실험결과의 3~10배 정도로 나타났다.

본 실험에 사용한 시료에 대한 기본오차율 구한 결과 그 크기는 1.9%이고 표의 정확도와 정밀도의 기본오차율에 대한 배율을 구한 결과 그 크기는 1.5~2.3배로서 이는 위에서 설명한 실험결과보다 약간 낮은 수준임을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 컴퓨터 시각 장치에 의해 물체의 크기를 측정할 경우 피측정물이 놓이는 컴퓨터 화면상의 위치에 관계없이 그 측정의 정확도와 정밀도는 일정함을 의미한다.

이상의 실험 결과를 종합하면, 본 실험장치와 같은 컴퓨터 시각은 단일의 분무입자 크기를 측정하는 수단으로 이용하는데 별다른 문제가 없으며, 측정시 측정의 정확도와 정밀도는 피측정체의 길이에 따라 달라지는데 그 크기는 본론에서 정의한 기본오차율의 약 3배 정도임을 알 수 있다.

나. 겹친 입자의 크기 측정

겹친 분무입자 분석을 위한 <실험 2> 중 4가지의 불균일한 형상의 입자에 대한 실험결과는 표 6과 같다.

Table 6 Statistics for the observations of droplets in contact at four kind conditions

		k			
		1.25	1.31	1.54	1.72
D1	Mean	2500	2540	2340	2344
	CV(%)	0	0.352	0	0.341
	Accu.(%)			0.85	1.06
	Prec.(%)			0	0.68
D2	Mean			1268	1280
	CV(%)			0.772	0
	Accu.(%)			1.83	1.83
	Prec.(%)			0.95	0

앞에서 설명한 바와 같이 모든 분무입자 가능 영역에 대해서는 영역 형상의 불균일 정도를 나타내는 k 값을 산출하고 이를 임계 k 값과 비교하여 임계 k 값 보다 작은 경우는 단일의 입자로 판단하여 입자 하나의 직경을 구하였다. 이 경우의 실험 결과를 보면 측정된 입자의 크기는 표에서와 같이 실제 입자 직경보다 약간 큰 값으로 나타났으며 이는 타당한 결과이다. k 값이 임계 k 값 보다 큰 경우는 두개의 입자가 겹친 것으로 판단하여 두 개 입자의 직경을 각각 구하였는데 그 측정값의 정확도와 정밀도는 각각 1.83%, 0.95% 이하로서 기본오차율의 2 배 이하로 나타났다.

분무입자의 겹침 방향이 컴퓨터 시각 화면과 이루는 각에 따른 겹침 판독의 영향을 관찰하기 위한 실험의 결과는 표 7과 같다. 실험방법에서 설명한 바와 같이 4 종류 방향의 분무입자 겹침 방향에 대하여 실험한 결과 측정값의 변이계수

Table 7 Statistics for the observations of droplets in contact at two kind conditions

k Droplet Replication	1.25			1.54					
	D1			D1			D2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mean	2480	2490	2480	2340	2340	2340	1250	1260	1230
S.D.	30.3	28.3	31.1	4.3	0	8.7	27.7	30.4	61.4
CV(%)	1.22	1.14	1.25	0.185	0	0.371	2.21	2.42	5.00
Accu.(%)				0.85	0.85	1.70	2.94	2.94	1.01
Prec.(%)	1.73	1.61	2.12	0.32	0	0.64	2.60	2.79	0.79



최고 5%로서 약간 높은 수준으로 나타났다. 측정의 정확도와 정밀도는 모두 3% 미만이며 이를 위의 실험 결과와 비교한 결과 약 1.5배의 크기로서 이는 기본오차율의 약 3배로 분석되었다.

이상의 점진 분무입자에 대한 실험결과를 종합하면, 점진 분무입자는 본 연구에서 개발한 알고리즘에 의하여 식별할 수 있으며 이러한 식별은 분무입자의 점진 방향에 별다른 영향없이 수행할 수 있고, 식별 후 점진 분무입자 크기는 단일 분무입자의 크기 측정의 정확도와 정밀도 수준인 기본오차율 3배의 범위내에서 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 다. 입자 계수의 정밀도

분무입자 계수를 위한 <실험 3>의 결과는 통계 분석이 필요없을 만큼 분무입자 직경이 25 μm 이상인 입자들을 하나도 빠뜨림없이 계수한 것으로 나타났다. 다만 여기서 지적한 판독대상의 최소 입자 크기인 25 μm는 영상 잡음에 따른 측정 오차를 줄이고 점진 분무입자도 분석할 수 있도록 의도적으로 설정한 크기이므로 만일 더 작은 크기의 입자까지 판독하기 위해서는 현미경의 배율을 증가하고 개발한 알고리즘의 최소 판독값을 더 낮은 값으로 수정하면 된다. 따라서 본 연구에서 개발한 분무입자 분석장치의 하드웨어와 소프트웨어는 관측자가 설정한 크기 이상의 분무입자를 계수하는데 문제가 전혀 없음을 알 수 있었다.

#### 라. 분무량 측정의 정확도

전자정밀저울로 측정한 분무량과 본 컴퓨터 영상처리장치를 이용하여 분석한 분무량을 비교한 분석결과는 그림 4와 같다. 그림에서와 같이 컴퓨터 영상처리장치로 분석한 분무량은 전자정밀저울로 측정한 분무량간의 상관계수(r)가 0.983인 높은 상관관계를 보였다. 그리고 두 측정값간의 회귀방정식은 그림에서와 같이 회귀계수

와 편차가 각각 거의 1과 0에 가까운 값으로서 입의 시료에 대하여 컴퓨터 시각에 의한 측정방법이 직접 계량한 방법과 거의 같은 측정값을 내는 우수한 결과를 보였다.

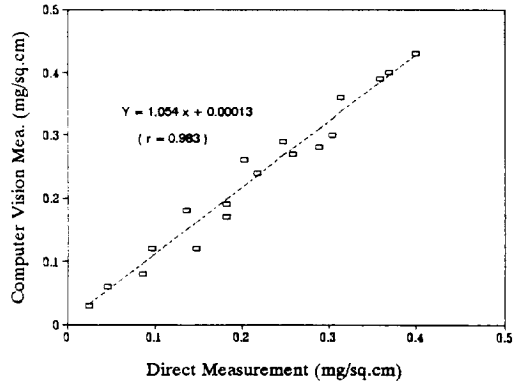


Fig. 4 Correlation between the computer vision and direct weighing method to measure amount of droplet fallings

컴퓨터 영상처리장치에 의한 분무량 측정의 정확도는 위와 같이 높은 수준이나 이러한 정확도를 유지하기 위해서는 측정할 수 있는 단위 면적당 분무량에 한계가 있다. 이는 컴퓨터 영상처리장치로 측정할 경우 사용한 감수지에 채집한 분무입자들이 가능한 점치지 않으므로써 원형의 분무입자의 형상을 유지해야 그 크기 측정의 정확도를 유지할 수 있기 때문이며 이를 위해서는 단위 면적당 분무량이 적어야 하기 때문이다. 실험결과 본 연구에서 사용한 감수지의 측정가능한 분무량의 최대치는 약 0.5 mg/cm<sup>2</sup> 정도였고 그 이상의 범위에서도 측정은 가능하나 분무량의 증가에 따라 측정의 정확도는 급격히 낮아졌다.

## 5. 결론

미세한 분무입자 분석이 가능한 컴퓨터 시각 장치의 하드웨어를 구성하고, 이를 이용하여 단일의 분무입자 또는 다양한 형태의 점진 분무입

자의 크기를 측정하고 분무입자 수를 계수하여 분무량을 계산하는 알고리즘을 개발한 다음 그 정당성을 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 분무입자 크기 측정의 정밀도와 정확도를 실험한 결과, 분무입자의 화면상 위치에 따른 정확도가 정밀도의 차이는 무시할 수 있는 정도이고, 그 크기는 본론에서 정의한 기본오차율(화소 하나의 실제 길이 / 피측정 길이)의 3배 이내였다.
2. 분무입자 수를 계수하는 실험 결과, 알고리즘 상에서 설정한 일정 크기 이상의 분무입자는 모두 계수하는 결과를 보였다.
3. 분무입자 크기와 입자수의 계수 결과로 부터 산출한 단위면적당 분무량은 직접 계량한 값과 거의 일치하였다. 다만 측정 가능한 분무량은 미소한 크기로서 그 최대치는 0.5 mg/cm<sup>2</sup> 정도로 나타났다.
4. 이상의 실험결과를 종합하면, 본 연구에서 개발한 분무 분석 알고리즘은 분무입자의 크기나 분무량의 분석을 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 유용한 수단이다.

#### 參 考 文 獻

1. 김명규. 1994. 무인 상온 연무방제기 개발에 관한 기초연구. 박사학위논문. 경상대학교.
2. 이상우. 1993. 분무기용 노즐의 구조에 관한 연구. 한국농업기계학회지 18(2) : 100-109.
3. Calton, J.B. et al. 1990. Aerial spray deposit analysis I : cylindrical collector drop size effects. Trans. of the ASAE 33(6) : 1795-1800.
4. Carlton, J.B. and L.F. Bouse. 1988. Exploring aerial spray sampling with a cylindrical collector. Trans. of the ASAE 31(4) : 990-997.
5. Carpenter, T.G. et al. 1988. Computerized weighing system for analyses of nozzle spray distribution. Trans. of the ASAE 31(2) : 375-379.
6. Ciba-Geigy Co. 1990. Water-sensitive paper for monitoring the spray distribution. Ciba-Geigy Agricultural Division Info. Pamphlet AG 7.3.
7. Franz, E. 1993. Machine vision using image gradients for spray-deposit analysis : software development. Trans. of the ASAE 36(6) : 1955-1965.
8. Hill, B. D. and D. J. Inaba. 1989. Use of water-sensitive paper to monitor the deposition of aerially applied insecticides. J. Econ. Entomol. 82(3) : 974-980.
9. Kranzler, G.A. et al. 1985. Computer vision for evaluation of agricultural chemical application. Agrimation I. ASAE.
10. Krishnan, P. et al. 1989. Spray pattern displacement measurements of TK-SS2.5 flood tip nozzles. Trans. of the ASAE 32(4) : 1173-1176.
11. Krishnan, P., T.H. Williams and L.J. Kemble. 1988. Technical note : spray pattern displacement measurement technique for agricultural nozzles using spray table. Trans. of the ASAE 31(2) : 386-389.
12. Last, A.J., C.S. Parkin and R.H. Beresford. 1987. Low-cost digital image analysis for the evaluation of aerially applied pesticide deposits. Computers and Electronics in Agriculture 1 : 349-362.
13. Sagi, Z. and R.C. Derksen. 1991. Detecting spray droplets on leaves with machine vision. ASAE Paper No. 91-3050.
14. Salyani, M. and J.D. Whitney. 1988. Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. Trans. of the ASAE 31(2) : 390-395.
15. Salyani, M. and J. Serdyski. 1990. Development of a sensor for spray deposition assessment. Trans. of the ASAE 33(5) : 1464-14

- 68.
16. Sistler, F.E. et al. 1982. An image analyzer for aerial application patterns. Trans. of the ASAE 25(4) : 885-887.
17. Smith, D.B. 1992. A proposal for pre-field broadcast spray deposit evaluations. Trans. of the ASAE 35(1) : 33-37.
18. Srivastava, J. et al. 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. ASAE.