

미니 스프링클러의 살수 기능 - (2) 살수 입자의 크기¹⁾

서상룡 · 성제훈
전남대학교 농과대학 농공학과

Performance of Mini-Sprinkler - (2) Size of Droplets¹⁾

Suh, S.R. · Sung, J.H.
Dept. of Agri. Engg., Chonnam National University, Kwangju 500-757

Abstract

This study was performed to investigate size of droplet sprinkled from mini-sprinkler. Twelve different kinds of the sprinkler having various structures and sizes of nozzle orifices were selected and tested. Diameters of the droplet reached at several distances from a sprinkler were measured by a machine vision system and the volume median diameters (VMM) were determined statistically.

The size of droplet was not affected much by the size of nozzle orifice of a sprinkler but was rather more affected by structure of the sprinkler, especially by the shape of spreader of the sprinkler. Experiment of varying pressure of sprinkling water validated that the size of droplet was inversely proportional to water pressure powered by 1/3. Hence the size of droplet at any water pressure could be easily estimated from experimental data.

The size of droplet increased as travel distance of the droplet increases in a relationship of 2nd order function. The size of droplet of the tested sprinkler were in the ranges of 100-300 μ m within 1m of droplet travel distance, 230-470 μ m within 1-2m of droplet travel distance and 300-770 μ m within 2-3m of droplet travel distance.

주 제 어 : 미니 스프링클러, 성능, 살수입자 크기, 체적중간직경

Key words : mini-sprinkler, performance, droplet size, volume median diameter

서 언

국내의 시설 농업에서는 관수 또는 액비 소비를 목적으로 한 미니 스프링클러의 사용이 급격히 증가하고 있다. 이러한 미니 스프링클

러는 이상의 사용 목적 외에도 하절기에 원예 또는 축산 시설 내의 온도를 낮추거나 습도를 높이기 위한 환경 제어 목적으로 일부에서는 약액 살포용 분두로서 그 사용이 확대될 것으로 예상되고 있는데, 그 성능에 관한 자료는

¹⁾본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구개발과제에 의해 수행되었음.

충분하지 못한 실정이다.

미니 스프링클러를 농작업에 사용할 경우 그에 적합한 종류를 선택하기 위해서는 시판되고 있는 스프링클러의 여러 가지 성능 중 살수량과 살수강도에 관한 자료(서 등, 1996) 외에 살수입자의 크기에 관한 정보가 요구된다. 특히 최근 시설원예나 과수재배에서 신중하게 고려되고 있는 바와 같이 미니 스프링클러를 생물생산시설의 약액살포용 분두로 사용할 경우 적정 스프링클러 선택시 살수입자의 크기에 관한 정보는 필수적으로 고려해야 할 내용이다.

본 연구는 이에 따라 현재 국내에 소개되고 있는 미니 스프링클러 중 대표적인 몇 가지 종류를 선택하여 이를 대상으로 살수입자의 크기에 관한 실험을 수행하고 그 결과를 분석하여 미니 스프링클러 이용에 관한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험 장치

미니 스프링클러 살수입자의 크기를 측정하기 위하여 본 연구에서는 살수압력이 0.1~1.

0MPa 범위내에 있는 임의 압력에서 실험이 가능하도록 실험장치를 구성하였다. 이 장치는 무단변속 전기모터를 동력원으로 하는 왕복형 펌프 (원대주식회사, 횡형 2련 플린저식 펌프)를 중심으로 하여 이에 압력조정기(일본 CKD사, 액체압력조정기)를 부착하여 살수액 압력의 미소 조절이 가능하도록 하였다.

실험에 사용된 미니 스프링클러의 종류는 모두 12종으로서 그 종류는 표 1과 같이 미니 스프링클러살수량과 살수강도에 관한 실험(서 등, 1996)에 사용한 것과 동일한 것이었다.

2. 실험방법

미니 스프링클러 살수입자의 크기는 길이 측정방법으로 측정할 수 없는 미소한 크기인 수 μm 로 부터 수 mm까지 다양하다. 본 연구에서는 이러한 살수입자의 크기를 측정하기 위하여 여러 가지 방법을 검토한 결과, 분무 분석용 감수지(water sensitive paper)를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단하였다. 이는 본 감수지를 사용할 경우 살수입자의 크기 측정이 가능할 뿐만 아니라 살수의 분포 상태 파악이 용이(Hill and Inaba, 1989)하기 때문이다.

Table 1. Specification of mini-sprinkler tested.

Number	Type	Manufacturer	Nozzle dia.(mm)
1	Upward, Two sides eject	Dan, Israel	0.8
2	"	"	1.2
3	"	"	1.6
4	Upward, One side eject	Dan, Israel	0.8
5	"	"	1.2
6	"	"	1.6
7	Mist generating(360°)	Dan, Israel	0.8
8	"	"	1.2
9	"	"	1.6
10	Two sides eject	Lego, Netherland	1.4
11	One side eject	Challenger, Australia	1.0
12	Rotary	Ein Dor, Israel	1.8

감수지에 채집한 살수입자의 크기는 현미경에 의해서만이 측정이 가능하였다. 그리고 채집한 살수입자의 수는 하나의 감수지에서 채집된 것만도 수 십개에 달하므로 이들을 현미경을 통하여 개별 측정하는 것은 막대한 인력과 경비를 소요로 하기 때문에 이러한 살수입자의 크기를 계측하고 살수입자수를 계수하는 작업을 용이하게 수행하는 살수입자 분석장치가 요구되므로 본 연구에서는 컴퓨터 영상처리 장치를 이용한 살수입자 분석장치 및 관련 컴퓨터 프로그램(서 등, 1994)을 이용하였다. 이 장치는 스프링클러 살수입자가 낙하하는 여러 곳에 미리 감수지를 배치하여 살수입자들을 채취한 후 현미경으로 확대한 다음 영상처리장치로 분석함으로써 영상내 각 살수입자의 크기와 수를 측정하도록 한 장치이다.

본 연구는 먼저 스프링클러 분구(nozzle) 직경과 살수압력이 살수입자의 크기에 미치는 영향을 조사한 다음 실험대상 스프링클러 종류별로 살수입자 도달거리별 크기를 조사하는 방법으로 수행하였다. 스프링클러 분구직경(11徑)의 영향에 관한 실험은 스프링클러 번호 1~9의 스프링클러가 표 1과 같이 각각 3개의 스프링클러 끼리 그 구조는 같고 오직 분구의 구경만이 다른 점을 이용하여 같은 구조의 스프링클러를 동일한 방법으로 실험하여 그 결과를 서로 비교하고자 하였다. 살수압력이 살수입자의 크기에 미치는 영향을 조사하기 위하여 본 연구에서는 스프링클러 번호 2, 5, 8을 대상으로 각각 살수압력 0.2MPa와 0.5MPa 상태에서 실험한 후 그 결과를 서로 비교하였다.

스프링클러 살수실험시 스프링클러는 지상으로부터 70cm 높이에 고정 설치하고, 살수입자는 도달거리별로 바닥에서 평면상으로 채집하였다. 살수입자를 채집하기 위한 감수지는 바닥에 떨어지면서 튄 살수입자가 감수지에 채집되는 것을 방지하기 위해서 바닥으로부터 약 4cm 높게 설치하였다. 대부분 스프링클러에 대한 실험에 있어 감수지의 배치방법은 스프링클러로부터 1m 이내에서는 20cm 간격으로 하고 1m 이상의 거리에는 50cm 간격으로

배치하는 것을 원칙으로 하였다. 스프링클러의 실험시 살수압력은 살수압력의 영향에 관한 실험의는 모든 스프링클러에 대하여 0.5MPa로 일정하게 하였으며, 이상의 모든 실험은 공히 2 반복으로 하였다.

결과 및 고찰

미니 스프링클러의 살수과정은 액체의 미립화 및 분출과정이며 미립화된 살수입자의 크기는 같은 살수장치에 있어서도 다양한 크기로 나타난다. 따라서 살수입자의 크기는 그 분포를 조사하여 평균직경(mean diameter) 또는 중간직경(median diameter) 등의 대표값으로 나타낸다.

일반적으로 평균직경은 주로 입자체적의 평균치를 나타내는 입자 직경인 체적평균직경(volume mean diameter)으로 표현하며 미립화 연구에 주로 사용하고 있다. 살수입자의 크기를 나타내는 또 하나의 방법인 중간직경은 살수입자의 특성치를 양분했을 때의 입자 직경을 말하고 기호로는 D_v 로 표현한다. 여기서 x 는 살수입자의 특성치로서 살수입자의 수(number), 길이(length), 면적(area), 체적(volume)이 있으며 영문의 첫대문자로 표기한다. 그리고 f 는 비율을 말한다. 예를 들어 $D_{v,0.5}$ 로 표기한다면 이는 체적중간직경(volume median diameter)을 나타내며 이 중간직경보다 크거나 작은 입자의 체적 합이 서로 같은 것을 뜻한다. 일반적으로 분두에서 분사한 입자를 크기에 따라 분류하는 경우는 체적중간직경이 널리 이용된다(Srivastava 등, 1993). 따라서 본 연구에서는 체적중간직경을 택하여 실험대상 스프링클러의 살수입자 특성을 분석하였다.

1. 체적평균직경과 체적중간직경의 비교

체적평균직경과 체적중간직경은 그 정의가 다르므로 동일한 살수입자들에 대해서 이 두 가지 대표값의 크기는 서로 다르다. 본 연구

에서는 먼저 이 두 대표값의 차이를 관찰하기 위하여 실험한 스프링클러의 살수실험 자료를 비교하였으며 그 중 두가지 예를 보면 그림 1과 같다.

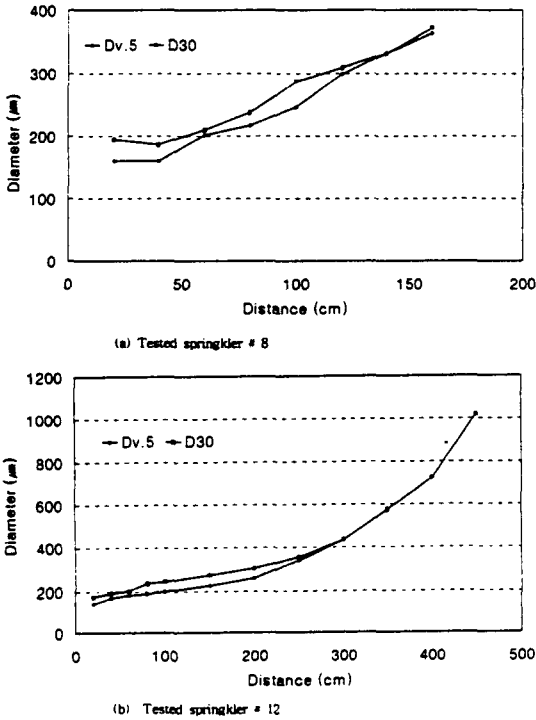


Fig. 1. Comparison of particle diameters between the volume mean and the volume median.

그림에서와 같이 체적평균직경과 체적중간직경의 크기는 대체로 비슷하나 체적중간직경이 체적평균직경에 비하여 항상 적거나 거의 같은 값으로 분석되었다. 그리고 이러한 결과는 실험한 모든 스프링클러에서 동일한 양상으로 나타났다. 여기서 두 대표값이 거의 같은 경우는 실제로 두 값이 거의 같거나 일치하는 경우였다.

2. 스프링클러의 구조와 분두 구경이 살수 입자 크기에 미치는 영향

크기나 구조는 동일하지만 구경이 각각 다

른 스프링클러 번호 1, 2, 3과 4, 5, 6과 7, 8, 9 스프링클러에 대한 살수입자 크기에 관한 실험결과는 각각 그림 2, 3 및 4와 같다. 그림과 같이 스프링클러번호 1~9의 스프링클러에 있어 살수입자의 크기는 실험대상 스프링클러의 구경이 비교적 큰 차이가 있었음에도 불구하고 스프링클러의 구경 변화에 대체로 무관하게 일정한 크기로 나타났다.

스프링클러의 구경은 살수입자의 크기에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 분사 액체를 분구에서 직접 대기에 분사하는 분두의 경우 그 구경과 살수입자에 있어서는 살수입자 직경이 분두 구경의 2/3승에 비례하는 관계식이 성립한다(Srivastava 등, 1993). 전술한 바와 같이 스프링클러 구경과 살수입자간의 실험결과를 보면 이는 이러한 관계식과는 다르게 살수입자 크기는 스프링클러 구경의 차이에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 실험한 스프링클러가 모두 액분산기(spreader)를 갖고 있으므로 분구에서 분사된 액체가 액분산기에 충돌한 후 더욱 미립화되어 살수되므로써 스프링클러의 구경이 살수입자 크기에 미치는 영향보다는 스프링클러의 액분산기가 살수입자의 크기에 더 큰 영향을 준 것으로 판단되었다. 즉 액분산기에 충돌한 살수는 스프링클러의 구경에는 큰 영향없이 액분산기의 구조에 따라 그 크기가 결정되는 것으로 판단되었다.

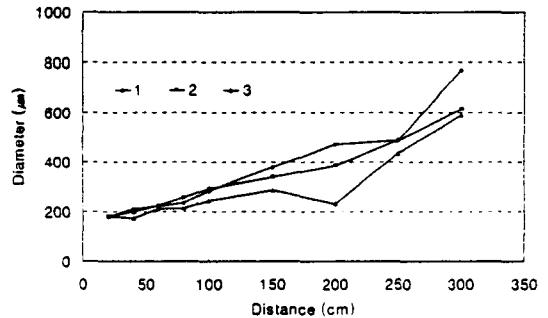


Fig. 2. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 1, 2 and 3 which have nozzles of different diameter.

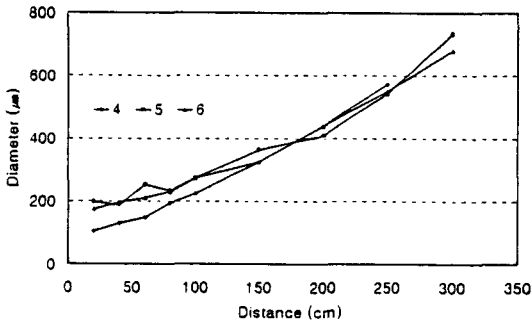


Fig. 3. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 4, 5 and 6 which have nozzles of different diameter.

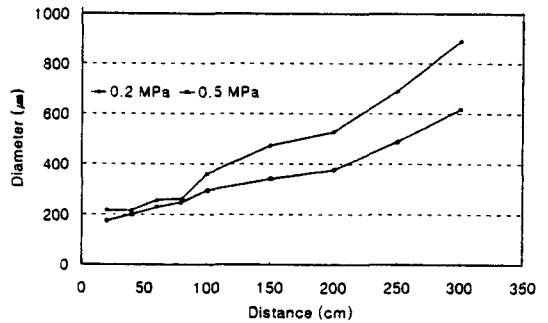


Fig. 5. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 2 at pressures of 0.2MPa and 0.5MPa.

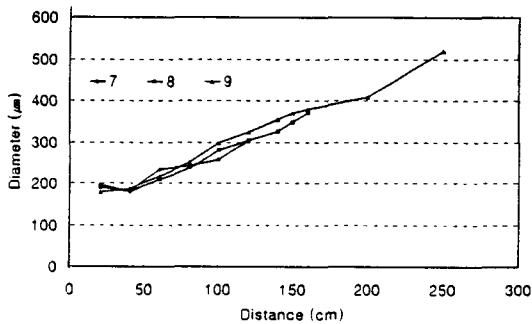


Fig. 4. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 7, 8 and 9 which have nozzles of different diameter.

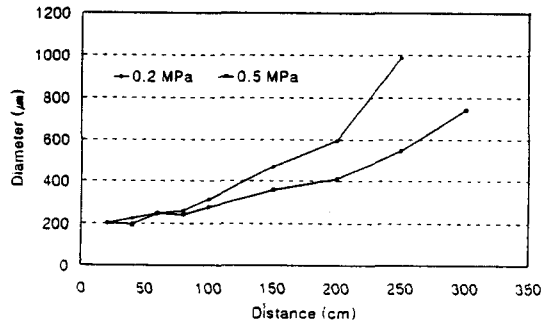


Fig. 6. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 5 at pressures of 0.2MPa and 0.5MPa.

3. 분사압력과 살수입자 크기와의 관계

스프링클러의 분사 압력은 살수입자 크기에 영향을 준다. 스프링클러번호 2, 5, 8 스프링클러에 대하여 분사압력을 0.2MPa와 0.5MPa 두 수준으로 실험하여 살수입자의 크기를 분석한 결과는 각각 그림 5, 6 및 7과 같다.

분두의 분사압력과 살수입자 크기에 관해서는 다음과 같은 관계식이 성립한다 (Srivastava 등, 1993).

$$\frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

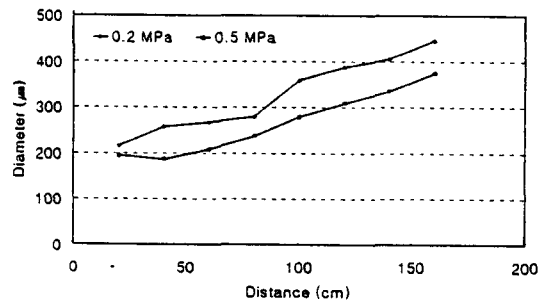


Fig. 7. Comparison of diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 8 at pressures of 0.2MPa and 0.5MPa.

여기서, D_1, D_2 = 살수입자의 직경
 p_1, p_2 = 분사압력

위의 실험결과에 식 (1)을 적용한 결과 식 (1)에 의해 예측한 값과 실험값 사이에는 5~20% 범위의 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 살수입자 표본 채집의 어려움과 살수입자의 측정오차 등을 고려하면 실험결과는 식 (1)을 대체로 만족한다고 할 수 있었다. 따라서 특정 스프링클러에 있어 살수압력 변화에 따른 살수입자의 크기는 임의의 분사압력에서 실험하고 그 결과를 식 (1)에 적용하여 분사압력에 대한 살수입자의 크기를 예측할 수 있을 것으로 판단하였다.

4. 살수입자 도달거리와 살수입자 크기와의 관계

실험한 12종의 각 스프링클러에 있어 살수입자 도달거리별 살수입자의 크기는 스프링클러 번호 1~9의 경우는 앞에서 보인 그림 2, 3, 4, 그리고 스프링클러 번호 10~12는 다음의 그림 8과 같다.

살수입자의 도달거리와 살수입자의 직경은 이론적으로 선형 비례관계가 있다(서 등, 1994). 그러나 그림에서와 같이 살수입자의 도달거리와 살수입자의 직경간에는 다음과 같은 2차 함수의 관계가 있는 것으로 분석되었다.

$$d = al^2 + b \quad (2)$$

여기서, d = 살수입자의 직경
 l = 스프링클러로부터 거리
 a, b = 관계식의 계수

구경이 작은 스프링클러에서 분사된 살수입자는 스프링클러의 구경크기보다 도달거리에 따라 입자크기가 크게 증가하는 것으로 관찰되었음은 앞에서 설명한 바와 같다. 그러나 번호 11번 스프링클러의 경우 그 구경은 스프링클러 번호 2, 3, 5, 6, 8, 9번 스프링클러보다 작음에도 불구하고 도달거리별 살수입자의 크기는 이들 스프링클러의 것에 비하여 비교

적 작은 변화를 나타냈다. 따라서 도달거리별 살수입자의 크기 변화 정도는 스프링클러의 구경에도 영향을 받지만 스프링클러의 구조에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다.

스프링클러의 살수입자 크기를 서로 비교하기 위하여 각 스프링클러의 도달거리별 살수입자 크기를 나타낸 것은 표 2와 같다. 표에서와 같이 살수입자의 크기는 스프링클러의 종류에 따라 차이가 있으며 살수입자 도달거리 증가에 따라 증가하는데, 실험한 스프링클러에 있어 살수입자의 대체적인 크기를 보면, 도달거리 1m 이내에서는 100~300 μ m, 도달거리 1~2m 범위에서는 230~470 μ m, 도달거리 2~3m 범위에서는 300~770 μ m로 나타났다. 다만 표에는 나타내지 않았으나 번호 12번 스프링클러의 도달거리는 4.5m까지 달하고 그 위치에 도달한 살수입자의 크기는 1mm 정도였다.

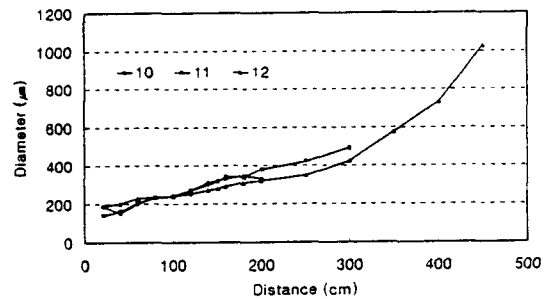


Fig. 8. Diameter of droplets sprinkled from sprinkler # 10, 11 and 12 at various distance.

적 요

구조와 크기가 각각 다른 12종의 미니 스프링클러를 대상으로 살수입자의 크기에 대한 분두의 구경과 살수압력의 영향을 조사하고 스프링클러 종류별로 각 살수 도달거리에서의 살수입자의 크기를 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 2. Diameter of droplets ($D_{v,5}$) sprinkled from the various mini-sprinklers at various distance. (unit : μm)

Id. No.	Distance(cm)										
	20	40	60	80	100	120	150	180	200	250	300
1	178	208	219	231	281		380		465	486	770
2	171	199	226	251	294		335		379	485	615
3	180	167	207	211	241		288		332	433	584
4	100	120	147	191	230		330		439	568	-
5	197	193	252	236	271		360		405	543	735
6	174	189	212	233	271		329		437	551	687
7	197	182	235	244	259	309	-		-	-	-
8	194	185	208	238	279	310	352		-	-	-
9	179	189	222	251	289		370		408	520	-
10	170	158	191	225	260	290	338	367	365	-	-
11	139	170	181	207	264		295		379	420	497
12	180	189	215	228	247		277		305	359	434

액분산기를 갖은 미니 스프링클러 살수입자 크기와 분두 구경과의 관계를 분석한 결과, 살수입자의 크기는 스프링클러의 분두 구경보다는 스프링클러의 구조 특히 액분산기의 형태에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 살수압력이 살수입자의 크기에 미치는 영향을 분석한 결과 살수입자의 크기는 살수압력의 1/3승에 반비례함이 확인되었다. 따라서 임의 압력하에서 살수되는 스프링클러 살수입자의 크기는 특정 압력하의 실험결과로부터 용이하게 예측할 수 있다.

살수입자 도달거리와 살수입자 크기와의 관계는 살수입자 도달거리의 2차 함수에 비례하여 살수입자의 크기가 증가하는 것으로 분석되었다. 시판되고 있는 미니 스프링클러의 대표적인 종류를 이용하여 실험한 스프링클러의 살수입자 도달거리별 살수입자의 크기는 스프링클러 종류에 따라 상당한 차이가 있으나 대체적 크기를 보면 도달거리 1m 이내에서는 100~300 μm , 도달거리 1m~2m 범위에서는 230~470 μm , 도달거리 2~3m 범위에서는 300~770 μm 으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. 서상룡, 유수남, 정종훈. 1994. 과수원 생력 약액살포장치와 개발. 농촌진흥청.
2. 서상룡 외. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 분무입자 크기와 분무량 측정법 개발. 한국농업기계학회지 19(4) : 369-379.
3. 서상룡, 유수남, 성제훈. 1996. 미니 스프링클러의 살수 성능실험 - (1) 살수량과 거리별 살수강도. 한국생물생산시설환경학회지 5(2) : 194-201.
4. Giles, D. K. and J. A. Comino. 1990. Droplet size and spray pattern characteristics of an electronic flow controller for spray nozzles. J. agric. Engng Res. 47 : 249-267.
5. 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.
6. Srivastava A. K. et al. 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE.