

## 미니 스프링클러의 살수 성능실험— (1) 살수량과 거리별 살수강도<sup>+</sup>

서상룡 · 유수남 · 성제훈  
전남대학교 농과대학 농공학과

## Experimental Study on Performance of Mini—Sprinkler— (1) Sprinkling Flow Rate and Sprinkling Intensity Pattern<sup>1)</sup>

Suh, S.R., Yoo, S.N., Sung, J.H.  
Dept. of Agri. Engg., Chonnam National University, Kwangju 500—757

### Abstract

A series of experiments to analyse and to compare performance of various types of mini—sprinkler was carried out. Twelve kinds of the sprinkler, which have various sizes of nozzle orifice diameter and structures of spreader, were selected to be tested. Flow(water sprinkling) rate and sprinkling intensity pattern from a sprinkler were measured as a first part of this study, and the results are as follows.

Sprinkler flow rate of various sizes of nozzle orifice and applied water pressures could be predicted by Torricelli's theorem. Discharge coefficients of the Torricelli's theorem for the sprinkler nozzle of various sizes were determined by the experiment as 0.90—0.95, 0.80—0.82 and 0.76—0.79 for 0.8, 1.2 and 1.6 mm of nozzle orifice diameter, respectively.

Experiments on sprinkling intensity pattern resulted that nozzle orifice diameter and applied water pressure are major variables for uniformity of the sprinkling intensity. More uniform sprinkling patterns were noted with smaller nozzle orifice diameter of a sprinkler and at lower sprinkling pressure. Besides the variables, structure of spreader of a sprinkler is also an important variable for the uniformity of sprinkling intensity.

키 워 드 : 미니 스프링클러, 성능, 살수량, 살수강도

key words : mini—sprinkler, performance, sprinkling flow rate, sprinkling intensity pattern

### 서 론

최근 국내의 시설 농업에서는 관수 또는 액비 시비를 목적으로 한 미니 스프링클러의 사

용이 급격히 증가하고 있다. 미니 스프링클러는 이상의 사용 목적 외에도 하절기에 원예 또는 축산 시설 내의 온도를 낮추거나 또는 습도를 높이기 위한 환경 제어 목적 또는 일

<sup>1)</sup> 본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구개발과제에 의해 수행되었음.

부에서는 약액 살포용 분두로서 그 사용이 확대되고 있다. 이러한 미니 스프링클러는 현재 다양한 종류가 국내에 소개되고 있는데 이들의 대부분은 이스라엘에서 개발되고 제작된 것으로서 그 성능에 관한 자료는 국내에 충분히 알려지지 못한 실정이다.

미니 스프링클러를 농작업에 사용할 경우 그에 적합한 종류를 선택하기 위해서는 시판되고 있는 스프링클러의 여러 가지 특성을 고려해야 한다. 이를 위해서는 스프링클러의 유량을 나타내는 살수량(sprinkler flow rate), 스프링클러로 부터 거리별 살수강도(살수강도 분포 ; sprinkling intensity pattern), 살수입자의 크기 등에 관한 정보가 기본적으로 요구된다.<sup>2,10)</sup> 특히 미니 스프링클러를 생물생산시설의 환경 제어 또는 약액살포용 분두로 사용할 경우 이러한 정보는 기본적으로 요구되는 중요한 자료이다.

이에 따라 본 연구는 현재 국내에 소개되고 있는 미니 스프링클러 중 대표적인 몇 가지 종류를 선택하여 이를 대상으로 먼저 살수량과 살수강도에 관한 실험을 수행하고 그 결과를 분석하므로써 미니 스프링클러 이용에 관한 일차적인 기본자료를 제공하기 위하여 수

행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 장치

시판되고 있는 미니 스프링클러의 구조는 액체를 분출하는 분구(nozzle), 고정되었거나 분출된 액체에 의해 회전하며 액체를 미립화하는 액분산기(spreader), 그리고 분구와 액분산기를 고정하는 프레임(frame)의 3부분으로 구성되어 있다. 이러한 구조의 미니 스프링클러의 살수성능은 분구의 크기와 액분산기의 형태에 의해 결정되게 되어있다.

실험에 사용한 미니 스프링클러의 종류는 모두 12종으로서 그 사양은 표 1과 같다. 표 1에서와 같이 실험대상의 스프링클러는 시판되고 있는 각종 미니 스프링클러 중 그 구조상 큰 차이가 있는 6종을 선택하고, 그 중 3종에 대해서는 분구의 직경이 각각 다른 3종을 택하였는데, 이는 분구의 구경과 살수량 및 살수강도의 관계를 조사하기 위한 것이었다.

Table 1. Specification of mini-sprinkler tested.

| ID Number | Type                   | Manufacturer          | Nozzle Orifice Diameter (mm) |
|-----------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1         | Upward, Two Side 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(180o)  | Dan, Israel           | 0.8                          |
| 8         | "                      | "                     | 1.2                          |
| 9         | "                      | "                     | 1.6                          |
| 10        | Two Side Eject         | Lego, Netherland      | 1.4                          |
| 11        | One Side Eject         | Challenger, Australia | 1.0                          |
| 12        | Rotary                 | Ein Dor, Israel       | 1.8                          |

본 연구에서 실험장치는 스프링클러에 의한 살수압력이 0.1~1.0 MPa 범위내 임의 입력에서 실험이 가능하도록 구성하였다. 이 장치는 무단변속 전기모터를 동력원으로 하는 왕복형 펌프(원대주식회사:황형 2련 플런저식 펌프)로서, 펌프 송출구에는 압력조정기(일본 CKD사:액체압력조정기)를 부착하여 살수 압력의 미소 조절이 가능하도록 하였다.

## 2. 실험방법

스프링클러의 살수량은 Torricelli의 분사 액체의 유속에 관한 식을 적용하여 다음과 같이 그 크기를 예측할 수 있을 것으로 예상하였다.<sup>9)</sup>

$$Q = C_n A \sqrt{\frac{2gP_g}{\gamma}} \quad (1)$$

여기서, Q=살수량(m<sup>3</sup>/s)

C<sub>n</sub>=유량계수

A=분구의 단면적(m<sup>2</sup>)

g=중력가속도

γ=액체의 비중량(N/m<sup>3</sup>)

P<sub>g</sub>=액체의 계기압력(Pa)

스프링클러의 살수량은 위 식에서와 같이 이론적으로는 분구의 단면적과 분무압력의 제곱근에 비례하는 것으로 알려졌으나, 실제로 스프링클러의 살수량을 구하기 위해서는 유량계수에 관한 자료가 요구된다. 본 연구에서는 다양한 크기의 분구 구경에 대한 스프링클러의 유량계수를 실험에 의해 구하고자 하였다. 실험시 스프링클러의 살수압력은 모든 실험대상 스프링클러에 대하여 0.5MPa로 일정하게 하였다. 이러한 유량계수 결정실험에 앞서 본 연구에서는 위의 살수 압력과 살수량의 관계를 확인하기 위하여 스프링클러 2, 5, 8에 대해서는 0.2MPa의 압력에서도 실험하였다.

유량계수를 구하기 위한 실험시 스프링클러의 살수량은 터빈형 액체유량계(일본 FHK사: 측정범위=0.03~5L/min)를 사용하여 측정하였다. 스프링클러의 살수강도는 스프링클러 주위 평면에 일정간격으로 배치한 감수지(water sensitive paper)를 이용하여 조사하였

다. 실험에 사용한 감수지<sup>4,6)</sup>는 수분에 민감한 용지로서 스위스의 Ciba-Geigy회사가 제작한 것인데, 동 회사는 감수지에 낙하한 액체 입자의 기록으로 부터 그 입자의 실제 직경을 구하는데 필요한 확장계수(spread factor)를 감수지와 함께 제시하고 있다. 실험시 감수지의 배치방법은 스프링클러로부터 1m 이내에서는 20cm 간격으로하고 1m 이상의 거리에는 50cm 간격으로 배치하는 것을 원칙으로 하였다. 이러한 감수지는 바닥에 떨어지면서 튀 살수입자가 감수지에 채집되는 것을 방지하기 위해서 바닥으로부터 약 4cm 높게 설치하였다.

살수강도는 일반적으로 강우량과 같이 단위 시간당 낙하한 살수량의 깊이로 정의하며, 본 연구에서는 임의 장소에 배치한 감수지에 낙하한 살수입자의 크기와 그 수를 측정 한 후 해당 감수지에 낙하한 전 수량을 구하고 살수강도는 다음 식과 같이 감수지 관찰면적과 살수입자 채집시간을 적용하여 구하였다. 여기서 살수입자의 크기와 그 수를 측정하는 방법은 컴퓨터 시각의 영상처리기법을 응용한 분무입자 분석장치<sup>11)</sup>를 사용하였다.

$$SI = \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{6} (Di/SF)^3 \frac{1}{A*t} \quad (2)$$

여기서, SI=살수강도(mm/hr),

Di=감수지에 부착된 살수입자의 감수지 기록상 직경(mm),

SF=퍼짐계수(spread factor):감수지 제작회사 제공 자료,

A=감수지의 관찰 면적(mm<sup>2</sup>),

t=살수입자의 채집시간(h),

n=감수지의 관찰 면적내의 모든 살수입자 수

살수강도 실험시 스프링클러의 살수압력은 살수량 실험과 같이 모든 실험대상 스프링클러에 대하여 0.5MPa로 일정하게 하였으며, 살수압력의 영향을 조사하기 위하여 스프링클러 2, 5, 8에 대해서는 0.2MPa의 압력 상태에서도 실험하였다.

이상의 스프링클러 살수량과 살수강도 실험은 공기 흐름에 의해 살수입자가 비산되는 것

을 방지하기 위하여 외풍이 차단된 실내에서 수행하였다. 실험시 분두는 지상으로부터 70 cm 높이에 고정 설치하고, 모든 실험은 공히 2반복으로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 살수량

가. 살수압력과 살수량과의 관계

미니 스프링클러 2, 5, 8을 대상으로 살수 압력 0.2MPa과 0.5MPa에서 실험한 결과는 그림 1과 같다.

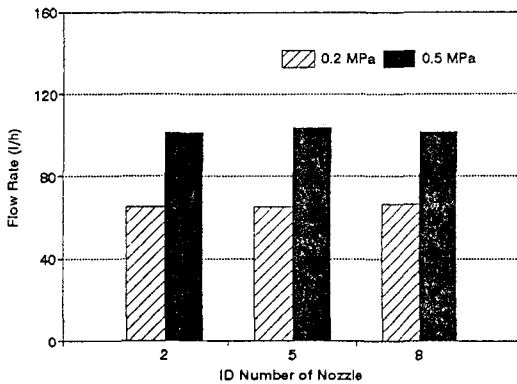


Fig. 1. Sprinkler flow rate variation of the mini-sprinklers at pressures of 0.2 and 0.5MPa.

스프링클러의 살수량은 식(1)과 같이 이론적으로 살수 압력의 제곱근에 비례하여 나타난다. 그림 1에서와 같이 살수 압력을 0.2MPa에서 0.5MPa로 변화할 때 스프링클러 2의 살수량은 1.58배, 스프링클러 5는 1.64배, 스프링클러 8은 1.59배 증가하므로써 살수 압력비의 제곱근인 1.58과 거의 같은 값을 나타냈다. 따라서 스프링클러 살수 압력 변화에 따른 살수량의 변화는 식(1)에 의해 예측 가능함을 확인할 수 있었다.

나. 살수량과 유량계수

살수 압력 0.5MPa의 조건에서 실험한 스프링클러의 살수량을 나타낸 것은 그림 2와 같다. 스프링클러의 살수량은 그림과 같이 분구 구경이 0.8mm인 스프링클러 1, 4, 7은 그림과 같이 서로 비슷한 크기를 보였고, 분구 구경이 1.2 mm인 스프링클러 2, 5, 8과 1.6mm인 스프링클러 3, 6, 9도 각각 서로 거의 비슷한 결과를 나타냈다. 이러한 스프링클러 1~9의 살수량은 분구 구경의 제곱에 거의 비례하여 나타났으나, 분구 구경이 각각 1.4, 1.0, 1.8mm인 스프링클러 10, 11, 12는 스프링클러 1~9에 비해 식(1)에 의해 예측한 양보다 약간 많은 살수량을 나타냈다.

분구 구경과 살수량간의 관계를 구하기 위하여 식(1)에서 설명한 스프링클러의 유량계수( $C_n$ )를 산출한 결과 유량계수는 대체로 분구의 구경 감소에 따라 증가하여 구경이 0.8mm인 스프링클러 1, 4, 7과 구경 1.2mm인 스프링클러 2, 5, 8과 구경 1.6mm인 스프링클러 3, 6, 9의 경우 유량계수는 각각 0.90~0.95, 0.80~0.82, 0.76~0.79의 범위로 분석되었다. 그리고 스프링클러 10, 11, 12에 있어 유량계수는 각각 0.89, 0.89, 0.82로 분석되어 유량계수는 스프링클러 액분산기의 형태에 따라 약간씩 차이가 있으나 역시 분구의 구경 감소에 따라 증가하는 추세를 나타냈다.

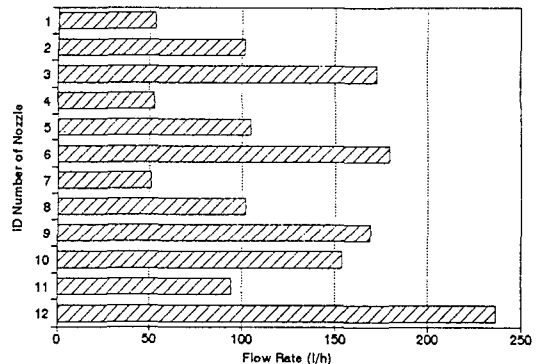


Fig. 2. Flow rates of the mini-sprinklers experimented at pressure of 0.5 MPa.

2. 살수강도분포

가. 분구 구경별 살수강도

입의 위치에서의 살수강도는 분구의 구경에 따라 다르다. 그림 3은 분구 구경이 각각 다른 양방향 분사식 미니 스프링클러 1, 2, 3의 살수거리에 따른 살수강도를 나타낸 것이다. 그림과 같이 모든 스프링클러에서 도달거리가 길어질수록 살수강도는 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 분구 구경이 증가할수록 그 감소정도는 크게 나타났다. 즉 스프링클러로부터의 거리가 0.2m에서 1m로 변할 때 살수강도의 변화를 보면 분구구경이 0.8mm인 스프링클러 1은 12.5mm/h에서 1.6mm/h로, 분구구경이 1.2mm인 스프링클러 2는 36.2mm/h에서 5.3mm/h로, 분구구경이 1.6mm인 스프링클러 3은 70.7mm/h에서 9.1mm/h로 살수강도가 감소함을 보여 분구 구경이 증가할수록 살수강도 감소율이 커 살수강도의 분포가 더 불균일함을 알 수 있었다. 한편 1.5m 이상의 거리에서는 3가지 스프링클러 모두 살수강도의 감소가 매우 완만하며 서로 비슷한 정도로 나타났다.

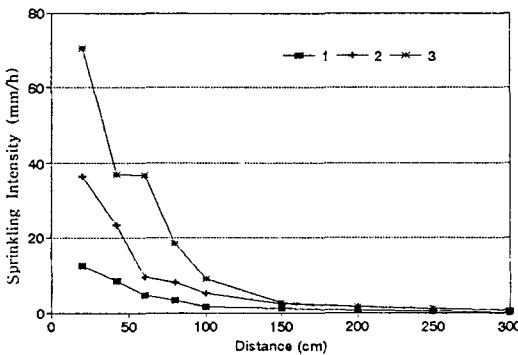


Fig. 3. Sprinkling intensity patterns of sprinkler 1, 2 and 3 of various nozzle diameters at pressure of 0.5MPa.

한방향분사식 스프링클러 4, 5, 6의 살수거

리에 따른 살수강도를 나타낸 것은 그림 4와 같다. 도달거리 0.2m부터 1m까지의 살수강도 변화를 보면, 분구구경이 0.8mm인 스프링클러 4의 경우 6.3mm/h에서 2.7mm/h로, 분구구경이 1.2mm인 스프링클러 5는 19.2mm/h에서 3.5mm/h로, 분구구경이 1.6mm인 스프링클러 6은 33.1mm/h에서 7.5mm/h로 감소하므로 스프링클러 1, 2, 3과 마찬가지로 분구 구경의 증가에 따라 살수강도의 감소율이 커짐을 알 수 있다. 그러나 양방향분사식의 스프링클러에 비하여 도달거리 증가에 따른 살수강도의 감소 정도는 적은 것으로 나타났는데, 두 스프링클러의 살수 최대도달거리가 거의 비슷한 점을 고려하면 한방향분사식이 양방향분사식보다 살수가 고르게 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 도달거리 1.5m 이상에서는 스프링클러 4, 5, 6의 경우도 살수강도의 감소가 서로 비슷한 수준으로 매우 완만하게 나타났다.

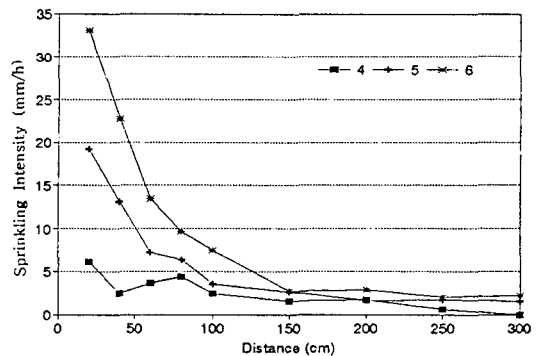


Fig. 4. Sprinkling intensity patterns of sprinkler 4, 5 and 6 of various nozzle diameters at pressure of 0.5MPa.

180° 미스트식 스프링클러 7, 8, 9의 살수거리에 따른 살수강도를 나타낸 것은 그림 5와 같다. 그림과 같이 미스트식 스프링클러의 살수강도 분포도 위의 2 가지 스프링클러와 같이 도달거리 증가에 따라 살수강도가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 다만 이 형식의 살

수강도 감소 정도는 스프링클러 1~6과 같이 분구구경에 따라 변화하지 않고 그림과 같이 분구구경이 각각 1.2와 1.6mm인 스프링클러 8과 9는 서로 거의 비슷한 감소율을 보인 반면 분구구경이 0.8mm인 스프링클러 7은 다른 감소율을 나타냈다. 스프링클러 7, 8, 9는 스프링클러 1~6과는 다르게 비회전형 액분산기를 갖고 있는데, 위의 실험결과는 이러한 액분산기 구조상의 차이에 따른 것으로 판단되었다.

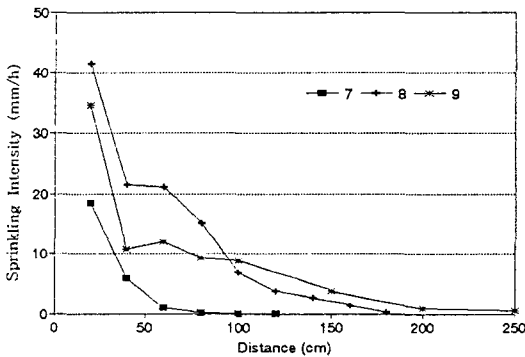


Fig. 5. Sprinkling intensity patterns of sprinkler 7, 8 and 9 of various nozzle diameters at pressure of 0.5 MPa.

나. 살수압력의 영향

살수압력이 살수강도분포에 미치는 영향을 실험한 결과는 그림 6, 7, 8과 같다. 그림 6과 7과 같이 스프링클러 2와 5는 실험한 두 가지 살수압력에 있어 공히 살수압력이 높은 경우가 낮은 경우에 비하여 불균일한 살수강도 분포를 보였다. 그러나 비회전형 액분산기를 갖은 스프링클러 8은 회전형 액분산기를 갖은 스프링클러 2와 5와는 다르게 그림 8과 같이 실험한 두 가지 압력에 따른 살수강도 차이가 거의 없는 결과를 나타냈다. 이러한 스프링클러 8의 살수강도분포의 차는 스프링클러 2와 5에 비해 큰 차이를 보였으며 실험한 3가지형

의 스프링클러 중 살수 분포가 가장 불균일한 것임을 알 수 있으며, 이러한 스프링클러 8의 살수특성은 스프링클러 8이 비회전형 액분산기를 갖은 구조적 차이에 기인한 것으로 판단되었다.

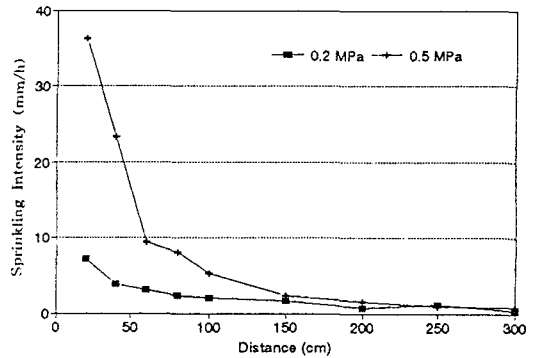


Fig. 6. Sprinkling intensity patterns from sprinkler 2 at pressures of 0.2 and 0.5 MPa.

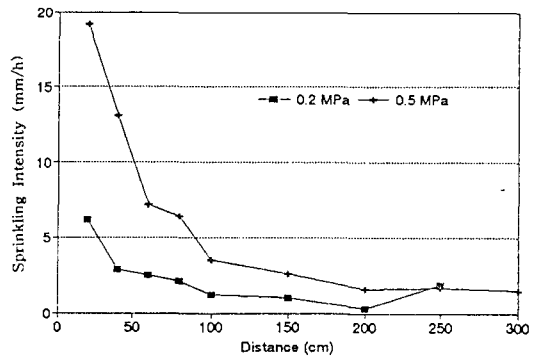


Fig. 7. Sprinkling intensity patterns from sprinkler 5 at pressures of 0.2 and 0.5MPa.

다. 스프링클러 종류별 살수강도

실험한 12종 스프링클러의 살수강도분포에 대한 실험결과 중 스프링클러 1~9의 실험결과는 위에서 설명한 바와 같다. 스프링클러

10, 11, 12에 대한 살수강도분포에 대한 실험 결과는 각각 그림 9, 10, 11과 같다.

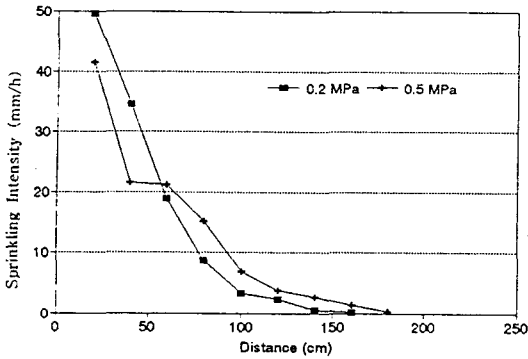


Fig. 8. Sprinkling intensity patterns from sprinkler 8 at pressures of 0.2 and 0.5 MPa.

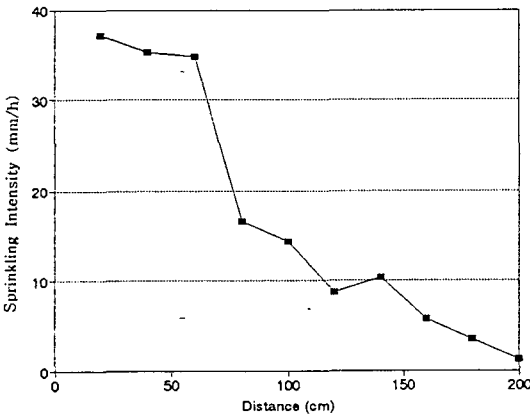


Fig. 9. Sprinkling intensity pattern from sprinkler 10 at pressure of 0.5 MPa.

양방향 분사식 스프링클러 10의 경우는 분구의 구경이 1.4mm로서 위에서 설명한 스프링클러 중 분구 구경이 비교적 큰 것임에도 불구하고 그림과 같이 1.2mm 분구구경을 갖은 스프링클러에 비하여 살수강도 감소율이 작아 비교적 균일하게 살수함을 알 수 있었

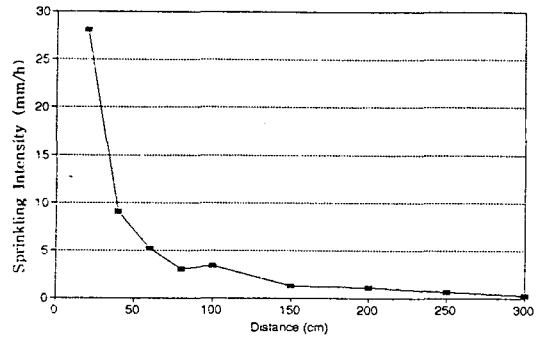


Fig. 10. Sprinkling intensity pattern from sprinkler 11 at pressures of 0.5 MPa.

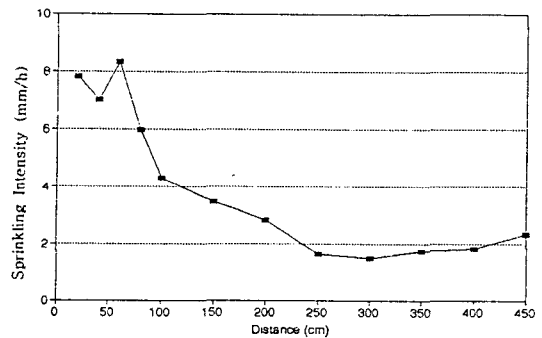


Fig. 11. Sprinkling intensity pattern of sprinkler 12 at pressures of 0.5 MPa.

다. 이러한 살수특성을 같은 양방향 분사식인 스프링클러 1, 2, 3과 비교한 결과 스프링클러 10의 분사기 액체 출구 단면적이 좁은 구조상 특성에 기인한 것으로 판단되었다.

한방향 분사식 스프링클러 11의 살수강도분포는 스프링클러로부터 거리 50cm 이내에서 급격한 감소율을 보인 후 그 이상의 거리에서는 매우 완만한 감소율을 나타냈다. 이러한 결과를 같은 한방향 분사식이면서 분구구경이 비슷한 스프링클러 4와 5의 살수강도 실험결과와 비교할 때, 스프링클러 11은 스프링클러

로부터 거리 50cm 이내의 근거리에서 살수강도 감소율이 커 불균일한 살수 분포를 나타냈다. 이러한 스프링클러 11의 거리별 살수 분포 특성은 스프링클러 4와 5와의 액분산기의 구조상 차이에 기인한 것으로 판단되었다.

스프링클러 12는 최대 살수거리는 옥외 실험결과 7m 이상으로서 실험한 다른 스프링클러 최대 살수거리의 3~4배에 달하는 결과를 나타냈다. 본 실험에 있어 살수강도의 측정은 실험실 크기의 제한 때문에 살수거리 4.5m 이내에서만 가능하였다. 이 스프링클러의 분구구경은 1.8mm로서 실험한 스프링클러 중 분구구경이 가장 크고 따라서 가장 많은 살수량을 나타냈는데, 살수강도분포는 살수거리 3m까지 7.8mm/h에서 1.5mm/h로 매우 낮은 감소율을 보임으로서 그 분구구경이 큰 것임에도 불구하고 살수거리나 살수분포의 균일정도로 볼 때 가장 우수한 것으로 나타났다. 이러한 스프링클러 12의 살수특성은 이 스프링클러가 갖는 액분산기의 독특한 구조에 기인한 것이며, 스프링클러의 살수특성은 액분산기의 구조에 따라 매우 크게 변화될 수 있음을 다시 확인할 수 있었다.

## 적 요

분구의 구경과 액분산기의 구조가 각각 다른 12종의 미니스프링클러를 대상으로 살수량과 살수강도분포를 실험하여 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

미니 스프링클러의 살수량은 분구의 이론 유출량 산출 수식에 의해 예측할 수 있었다. 실험한 스프링클러의 유량계수는 분구구경 증가에 따라 감소하여 그 크기는 분구구경 0.8, 1.2, 1.6mm의 경우 각각 0.90~0.95, 0.80~0.82, 0.76~0.79의 범위로 나타났다.

스프링클러의 살수 분포는 동일한 구조의 스프링클러의 경우 분구구경이 작을 수록 그리고 살수압력이 낮을 수록 균일한 것으로 나타났다. 이러한 스프링클러의 살수분포는 분구구경이나 살수압력외에도 액분산기의 구조에 따라 크게 영향을 받으므로 액분산기의 구조를 변화하므로써 살수입자의 최대 도달거리

나 살수의 균일도를 높일 수 있음을 알 수 있었다.

## 인 용 문 헌

1. 서 상룡 외. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 분무입자 크기와 분무량 측정법 개발. 한국농업기계학회지 19(4): 369-379.
2. Bernacki, H., J. Haman and Cz Kanafojski. 1972. Agricultural Machines, Theory and Construction vol. 1. Warsaw, Poland. Translated by NTIS of U.S.A. pp. 780-865.
3. Chaya, L.A. and D.J. Hills. 1991. Droplet size and drift potential from micro-sprayer irrigation emitters. Trans. of the ASAE 34(6):2453-2459.
4. CIBA-GEIGY. 1990. Water-sensitive paper for monitoring the spray distribution. CIBA-GEIGY Agricultural Division Info. Pamphlet AG 7.3.
5. Giles, D.K. 1988. Energy conversion and distribution in pressure atomization. Trans. of the ASAE 31(6): 1668-1673.
6. 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.
7. Salyani, M. and J. Serdyski. 1990. Development of a sensor for spray deposition assessment. Trans. of the ASAE 33(5): 1464-1468.
8. Sistler, F.E. et al. 1982. An image analyzer for aerial application patterns. Trans. of the ASAE 25(4): 885-887.
9. Srivastava et al. 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. ASAE.
10. Univ. of California. 1981. A permanent sprinkler system for deciduous orchards and vineyards.
11. Univ. of California. 1977. Solid set sprinklers for starting vegetable crops.