

# Non-bridge형 미니스프링클러의 살수 특성

## Distribution Characteristics of a Mini-Sprinkler without a Bridge

이            남            호\*  
Lee,        Nam        Ho

### Abstract

A study was conducted to find distribution patterns of a minisprinkler without a bridge for the design of microirrigation systems. The experiments were executed in a plastic house to minimize the effect of the wind. Data were collected at four different operation pressures and at 3 different riser heights. Sprayed water were collected by aluminium cans with 65mm diameter and 100mm height placed at 0.3m grid spacing. A schematic distribution pattern with distance from a minisprinkler was suggested for the layout design of the minisprinkler. Distribution pattern of the minisprinkler was found irregular in space. Distribution performance characteristics of the minisprinkler such as effective radius, effective area, mean application depth, absolute maximum application depth, effective maximum application depth and coefficient of variation were determined. It was indicated that there is a trend of decrease in variation coefficient and better water distribution by the increase in operation pressures and riser heights.

### I. 서    론

최근 들어 시설을 이용한 영농의 증가와 과수재배를 위한 관개 중요성 증가에 따라 미니스프링클러의 사용이 증가하고 있고, 또한 밭기반정비사업의 실시로 용수원개발을 포함한 밭기반이 정비되고 있어 밭작물의 노지재배를 위한 미니스프링클러의 필요성이 증대하고 있다.

현재 국내에서 사용하고 있는 관개용 미니스프링클러는 전량 외국에서 수입되고 있는 실정이다. 대부분의 이들 제품들에 대한 기술자료는 사용압

력에 따른 살수 범위만이 제공되어 있어 미니스프링클러를 이용한 관개시스템의 계획이나 설계에 충분치 못하다. 특히 미니스프링클러의 배치간격, 작동시간, 필요압력 등을 결정하기 위해서는 미니스프링클러로부터의 거리별 살수특성이 필요하다.

Boman<sup>4)</sup>은 미니스프링클러의 살수특성을 나타낼 수 있는 지표들을 제시하였고 Pandey<sup>10), 11)</sup> 등은 Boman이 제시한 지표를 이용해서 인도에서 생산되고있는 미니스프링클러의 살수특성에 관한 실험결과를 보고하였다. Chaya와 Hills<sup>5)</sup>는 레이저 probe장치를 이용해서 미니스프링클러로부터 살수

\* 환경대학교 농업생명과학부

키워드 : 마이크로관개, 미니스프링클러, 살수심, 살수성능, 변이계수

되는 물방울 크기의 분포를 조사하였는데, 압력의 증가에 따라 물방울의 크기는 감소하는 것으로 나타났다. 김<sup>1)</sup>은 컴퓨터 영상처리장치를 이용한 분무입자 분석장치를 개발하고 이를 이용한 실험결과로부터 미니스프링클러의 분무입자의 크기 및 분무분포의 상태를 분석하였다.

본 연구는 bridge가 없는 미니스프링클러의 살수특성을 파악하기 위한 살수실험을 실시하고 그 결과로부터 살수특성인자들을 결정하여 마이크로관개시스템의 설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 개요

살수실험에 사용된 미니스프링클러는 이스라엘의 Ein Dor사에서 제작한 861 minisprinkler로서 nozzle의 크기가 1.2mm이고 bridge가 없는 형태이다. bridge가 있는 스프링클러는 노즐에서 물이 분사될 때 bridge가 있는 방향으로 저항 때문에 살수거리가 짧아져서 살수면이 원형과 마제형의 중간 형태를 이루고 있고, 본 연구에서 사용한 bridge가 없는 스프링클러의 살수면은 원형에 가깝다. 제품 사양서에 의하면 유량이 70 l/h이고 작용압력 2.0bar에서 최대살수반경은 2.9m이다. 중규모 지역의 관개에 적합하고, 채소, 과수, 정원, 육묘 등에 사용되고 있다. 실험은 바람의 영향을 제거하기 위해서 플라스틱온실에서 실시되었고 장소의 제약성 때문에 살수지역의 1/2만을 측정대상으로 하였다. 미니스프링클러의 살수실험을 위한 기준이 없어서 미국 농공학회기준 S330.1<sup>2)</sup>인 “연구 목적을 위한 스프링클러 실험절차”를 가능한 한 적용하였다. 집수통은 ASAE/S330.1에 의해 0.3m 간격의 격자로 배치하였다. 실험에는 직경 65mm, 높이 100mm인 알루미늄으로 된 집수통을 사용하였다. 실험은 미니스프링클러의 설치높이별 (0.2, 0.3, 0.4m), 작용압력별(1.5, 2.0, 2.5, 3.0bar)로 1시간씩 2회 반복 실시되었다. 집수통에 집수

된 물의 양은 무게를 측정하여 높이로 환산하였다. 원하는 압력을 얻기 위해서 정압밸브를 사용하였다. Fig. 1은 살수시험 광경을 보이고 있다.

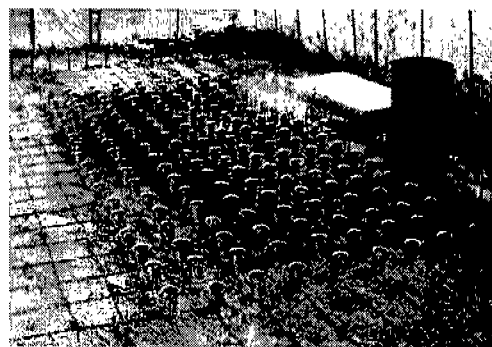


Fig. 1. Experimental layout

### 2. 미니스프링클러의 살수 특성인자

본 연구에서는 미니스프링클러의 살수성능을 나타내기 위하여 Boman<sup>4)</sup>이 제안한 인자들을 사용하였다. 이들 인자들에는 유효살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효최대살수심, 변이계수 등이 있는데, 각각 다음과 같이 정의된다.

1) 유효살수반경( $R_e$ , effective radius)은 살수된 물이 집수된 통 중에서 미니스프링클러로부터 가장 멀리 떨어진 5%까지의 집수통들의 평균거리이다.

2) 유효살수면적( $A_e$ , effective area)은 유효살수반경이내의 살수면적이다.

3) 평균살수심( $D_a$ , mean application depth)은 미니스프링클러로부터 유효살수반경 내에 있는 집수통들에서 집수된 물의 평균 깊이이다.

4) 최대살수심( $D_{xa}$ , absolute maximum application depth)은 집수된 물의 깊이가 가장 큰값이다.

5) 유효최대살수심( $D_{xe}$ , effective maximum application depth)은 집수된 물의 깊이가 가장 큰 5%의 평균 깊이이다.

6) 변이계수( $C_v$ , coefficient of variation)는 평균살수심을 전체 살수심의 표준편차로 나눈 값의 백분율을 말한다. 변이계수가 100보다 적으면 일

반적으로 살수능력이 양호한 것을 의미하고, 100보다 크면 물이 공급되지 않는 지역이 많다는 것을 의미한다.<sup>11)</sup>

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 미니스프링클러 살수분포의 특성

##### 가. 스프링클러로부터의 거리별 특성

미니스프링클러의 살수분포는 집수통에서 집수된 물의 깊이를 나타내는데, 미니스프링클러의 배치와 간격을 결정하는데 결정적인 요인으로 작용하고 있다. 일반 중·대형 스프링클러의 살수분포의 전형적인 형태는 삼각형분포와 마름모꼴분포로 대별된다.<sup>3),6),7),9)</sup> 본 연구에서 실시한 살수실험의 결과의 일부를 입체적으로 표시하면 Fig. 2와 같다. 여기서 수직축은 살수심(mm/h)을 나타내고 x, y축 스프링클러로부터의 격자수를 나타낸다. Fig. 2에서 보면 미니스프링클러의 살수심의 거리별 변화는 미니스프링클러가 설치된 원점에서부터 평균최대살수심까지 증가하다가 그 이후 서서히 감소하는 것으로 나타나고 있어 중·대형 스프링클러와는 상이한 결과를 보였다. 이것은 김<sup>11)</sup>의 연구 결과와도 일치하는 것으로 나타났다. Fig. 3은 이와 같은 특성을 잘 나타내고 있는 실험결과 하나를 MATLAB<sup>8)</sup>을 이용하여 3차원그래프로 표시한 것인데, 중앙에 있는 "S"자는 미니스프링클러의 위치를 나타낸 것이다. Fig. 2와 Fig. 3에서 보면 미니스프링클러의 살수분포의 전형적인 특성은 "도너츠"형이다.

이상의 살수분포형태에 관한 실험결과를 일반화하여 모식화하면 Fig. 4와 같다. 그림에서  $D_0$ 는 미니스프링클러가 설치된 지점에서의 살수심이고,  $D_{max}$ 는 미니스프링클러로부터  $X_{max}$  떨어진 지점에서 발생하는 유효최대살수심이다. 본 실험에서 얻어진 작용압력별 살수높이별 유효최대살수심이 발생하는 평균거리는 Table 1과 같다. 최대살수심 발생의 평균거리( $X_{max}$ )는 유효최대살수심 계산에 사용된 집수통 들의 미니스프링클러로부터

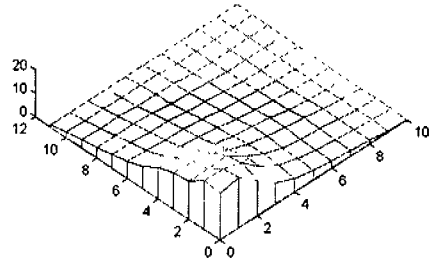


Fig. 2. Minisprinkler distribution patterns

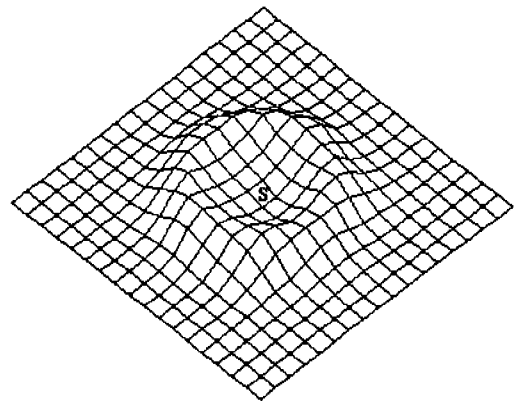


Fig. 3. 3-D image of minisprinkler distribution pattern

Table 1. Average distance at which max application depth occur

Class.	Pressures (bars) at 0.2m height				Heights(m) at 2.0 bar		
	1.5	2.0	2.5	3.0	0.2	0.3	0.4
$X_{max}(m)$	0.44	0.47	0.48	0.49	0.47	0.49	0.52

의 평균거리이다. 작용압력이 증가할수록 또는 살수높이가 증가할수록  $X_{max}$ 도 증가하는 것으로 나타났으나 큰 변화는 보이지 않고 0.44~0.52m의 범위에서 변화하는 것으로 나타났다.

##### 나. 공간적 분포 특성

실험 결과에 의하면 스프링클러로부터 분무되는 물은 Fig. 4에서 보는 것과는 달리 일반적으로 정

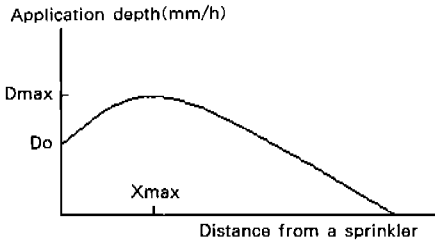


Fig. 4. Schematic minisprinkler distribution pattern with distance

형화되어 있지 못하다. 본 연구에서는 살수의 공간적 분포의 특성을 파악하기 위해 실험에서 얻어진 격자의 4개 꼭지점의 살수심의 산술평균을 격자면의 살수심으로 하고, 이를 MATLAB을 이용하여 2차원 그래프로 나타낸 것이 Fig. 5이다. Fig. 5에서는 살수높이가 0.2m 일 때 작용압력이 1.5, 2.0, 2.5, 3.0bar인 경우의 실험결과를 (a)~(d)에 정리하였고, 작용압력이 2.0bar 일 때 살수높이가 0.3, 0.4m인 경우를 (e)~(f)에 정리하였다. 각 그림의 x축과 좌측의 y축은 미니스프링클러가 위치한 지

점으로부터의 거리를 나타낸다. 격자의 크기는 0.3m×0.3m이다. 우측의 색도 구분을 나타내는 수치는 시간당 살수심(mm/h)이다. Fig. 5에서 보면 미니스프링클러를 중심으로 각 방향별 등거리(等距離) 지점에서의 살수심은 동일하지 않은 것으로 나타났다. 작용압력별로 또는 살수높이별로 약간 불규칙한 공간적 분포를 보였다.

본 연구에 사용된 bridge가 없는 미니스프링클러와 bridge가 있는 미니스프링클러의 살수공간 분포특성의 차이점을 알아보기 위해 bridge가 있는 미니스프링클러에 대한 살수분포실험을 실시하였다. 시험에는 Naan-Hadar 미니스프링클러가 사용되었고, 그 시험결과는 Fig. 6에 정리되어 있다. (a)는 높이가 0.3m에서 작용압력이 2.0bar, (b)는 높이가 0.3m에서 작용압력이 2.5bar, (c)는 높이가 0.2m에서 작용압력이 2.5bar일 때의 살수시험 결과를 보이고 있다. Fig. 6의 결과를 Fig. 5의 결과와 비교하면 bridge가 있는 미니스프링클러의 살수분포가 bridge가 없는 미니스프링클러보다 상대

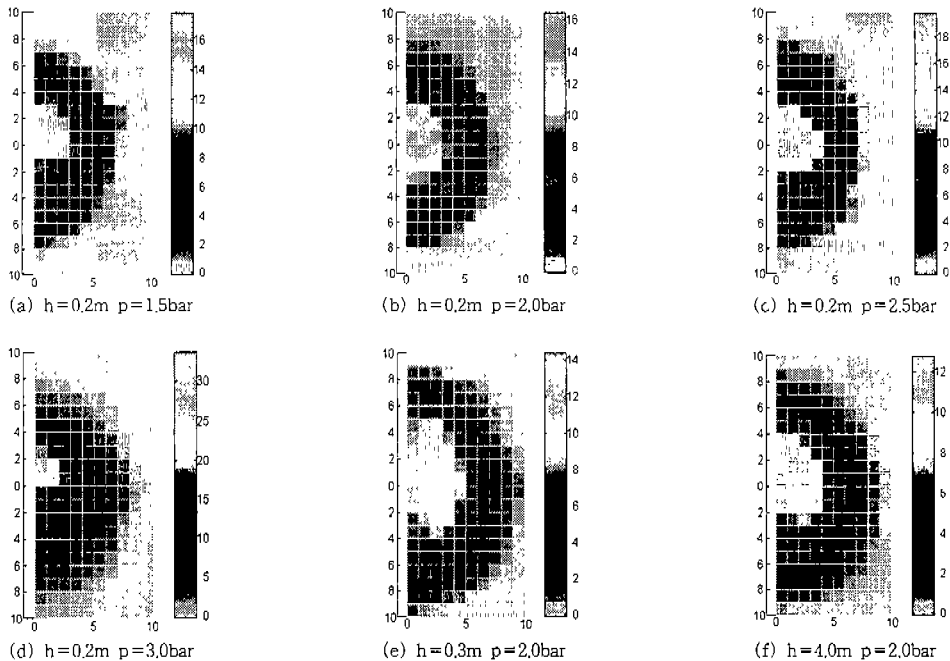


Fig. 5. 2-D image of distribution pattern of a minisprinkler without bridge

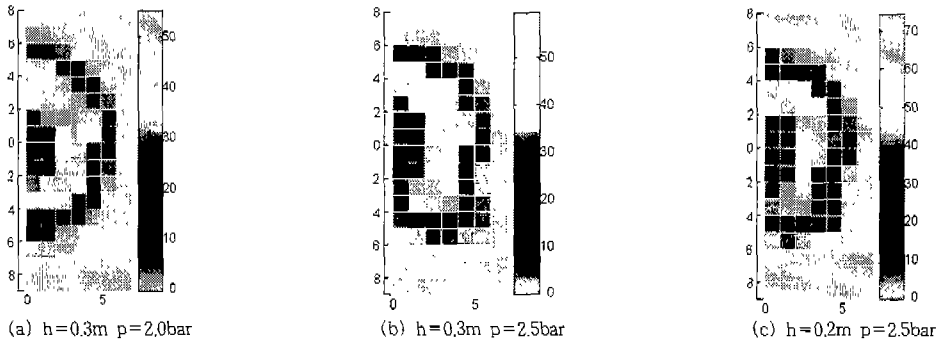


Fig. 6. 2-D image of distribution pattern of a minisprinkler with bridge

적으로 더욱 불균형한 것으로 나타났는데 이것은 bridge의 영향에 의한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 3과 Fig. 4와 같은 “도너츠” 형상이 상대적으로 뚜렷한 것으로 나타났다.

### 2. 작용압력별 살수성능의 변화

미니스프링클러의 작용압력별 살수성능을 파악하기 위하여 살수높이 0.2m를 고정하고 정압밸브를 이용하여 작용압력을 1.5, 2.0, 2.5, 3.0bar로 하여 각각에 대한 살수실험을 실시하였다. 실험결과는 Table 2에 나타나 있다. 유효살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효최대살수심은 작용압력이 증가함에 따라서 모두 증가하는 것으로 나타났다. 중·대형 스프링클러의 경우, 적정 작용압력보다 적은 경우에는 살수반경이 줄어들고 물방울의 크기가 증가하게 되며, 반대로 작용압력이 너무 높은 경우에는 살수반경은 늘어나고 물방울의 크기는 아주 미세하게 되어 바람의 영향을 많이 받고 증발손실의 우려가 높다는 Cuenca<sup>6)</sup>의 지적이 미니스프링클러의 경우에도 해당되는 것으로 나타났다. 변이계수는 작용압력 증가에 따라 감소현상을 보이고 있고 이것은 Boman<sup>4)</sup>의 연구결과와 동일한 것으로 나타났는데 Pandey<sup>11)</sup>의 기준에 의하면 작용압력이 증가할수록 살수성능이 증가하는 것으로 나타났다. Pandey의 “미니스프링클러의 살수성능은 변이계수가 낮을수록 양호하다”는 것은 바람의 영향을 고려하지 않고 단일 스

프링클러의 살수성능을 평가한 것이고, 이것은 “증발손실 및 바람의 영향을 고려하여 적정 작용압력에서 사용하는 것이 바람직하다”는 Cuenca의 기준과 약간 상치되고 있다. 그러나 스프링클러의 성능은 최종적으로는 포장에서의 균등계수, 적정성 및 지표유출 등에 의하여 결정되는 것이 바람직하다.

### 3. 살수높이별 살수성능의 변화

미니스프링클러의 살수높이별 살수성능을 파악하기 위하여 제작회사가 추천한 적정 작용압력 2.0bar에서 살수높이를 0.2, 0.3, 0.4m로 하여 각각에

Table 2. Minisprinkler performance at different pressures and 0.2m riser height

Performance Characteristics	Pressures (bars)			
	1.5	2.0	2.5	3.0
Effective radius(m)	2.51	2.53	2.58	3.01
Effective area(m <sup>2</sup> )	4.95	5.06	5.25	7.09
Mean application depth(mm/h)	4.82	5.08	5.79	6.07
Absolute max. application depth(mm/h)	16.6	20.1	23.7	26.3
Effective max. application depth(mm/h)	14.8	17.4	20.4	22.6
Coefficient of variation(%)	122	118	110	92

대한 살수실험을 실시하였다. 실험결과는 Table 3과 같다. 유효살수반경과 유효살수면적은 살수높이가 0.2m 일 때 가장 낮은 값을, 0.3m 일 때 가장 높은 값을 보였고 0.4m로 살수높이가 높아지면 오히려 감소하였다. 평균살수심은 살수높이가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다. 변이계수는 살수높이가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 살수높이에 따라 평균살수심이 감소하기 때문이다. Pandey<sup>11)</sup>의 기준에 의한 살수성능은 살수높이가 높아질수록 양호한 것으로 나타났다.

Table 3. Minisprinkler performance at different heights with 2.0bar

Performance Characteristics	Heights(m)		
	0.2	0.3	0.4
Effective radius(m)	2.51	3.24	3.10
Effective area(m <sup>2</sup> )	5.06	8.28	7.54
Mean application depth(mm/h)	5.08	4.00	3.52
Absolute max. application depth(mm/h)	20.1	17.2	19.8
Effective max. application depth(mm/h)	17.4	11.4	13.1
Coefficient of variation(%)	118	115	101

#### IV. 요약 및 결론

미니스프링클러를 이용한 마이크로관개시스템의 설계에 필요한 기초자료의 제공을 목적으로 non bridge형 미니스프링클러의 살수특성을 파악하기 위한 살수실험을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 미니스프링클러의 살수성능의 특성을 정의하기 위하여 Boman이 제안한 유효살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효최대살수심, 변이계수 등을 사용하였다.

2. 실험에 사용된 미니스프링클러의 살수 특성을 일반화하여 모식화 하였는데, 살수심의 거리별 변화는 미니스프링클러가 설치된 원점에서 최대살수심까지 증가하다가 그 이후 서서히 감소하는 특

성을 보이고 있다.

3. 살수심의 공간적 분포를 분석한 결과, 미니스프링클러를 중심으로 각 방향별 등거리(等距離) 지점에서의 살수심은 동일하지 않은 것으로 나타났다.

4. bridge가 있는 미니스프링클러의 살수분포가 bridge가 없는 미니스프링클러보다 상대적으로 더욱 불균형한 것으로 나타났다.

5. 작용압력별 살수성능을 분석한 결과, 유효살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효최대살수심은 작용압력이 증가함에 따라서 모두 증가하는 것으로 나타났다.

6. 살수높이별 살수성능을 분석한 결과, 유효살수반경과 유효살수면적은 살수높이가 0.2m 일 때 가장 낮은 값을, 0.3m 일 때 가장 높은 값을 보였고 0.4m로 살수높이가 높아지면 반대로 감소하였으며, 평균살수심은 살수높이가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다.

7. 변이계수의 계산 결과에 의하면 압력이 증가할수록 또는 살수높이가 증가할수록 미니스프링클러의 살수성능이 양호한 것으로 나타났다.

본 논문은 1998년도 농림수산기술개발사업에 의해 수행한 연구 결과의 일부임

#### 참 고 문 헌

1. 김태환, 1995, 미니스프링클러의 분무입자의 크기 및 분무분포 상태분석, 전남대학교 석사학위논문.
2. ASAE Standards S330.1, 1997, Procedure for sprinkler distribution testing for reseach purposes, St.Joseph, MI:ASAE.
3. Benami, A. and A. Ofen, 1983, Irrigation Engineering : Sprinkler, Trickle, Surface Irrigation, Irrigation Eng. Sci. Pub., Haifa, Israel.
4. Boman, B. J., 1989, Distribution patterns of microirrigation spinner and spray emitters.

- Applied Engineering in Agriculture, 5(1) : 50-56.
5. Chaya, L. A. and D. J. Hills, 1991, Droplet size and drift potential from micro-sprayer irrigation emitters, Transaction of the ASAE, 34(6) : 2453-2459.
  6. Cuenca, R. H., 1989, Irrigation system design : An engineering approach, Prentice Hall, Inc..
  7. James, L. G., 1988, Principles of farm irrigation system design, John Wiley & Sons.
  8. MATLAB User's manual, 1995, The MATH WORKS Inc..
  9. Michael, A.M., 1978, Irrigation : Theory and Practice, Vikas Pub. House Pvt Ltd..
  10. Pandey, A. K., H. S. Chauhan, K. K. Singh, and K.N. Shukla, 1995, Distribution characteristics of microsprinklers, Proceedings of the 5th Intern'l Microirrigation Congress, Orlando, Florida, 857-862.
  11. Pandey, A. K., H. S. Chauhan, K. N. Shukla, and K.K. Singh, 1995, Studies on single nozzle performances of microsprinklers, Proceedings of the 5th Intern'l Microirrigation Congress, Orlando, Florida, 863-868.