

하향 분사식 미니스프링클러의 낙수방지 메카니즘과 살수 특성

김홍규^{1*} · 정성원²

¹부산대학교 대학원 지능기계공학과, ²부산대학교 바이오시스템공학부

Mechanism and Spray Characteristics of a Mini-Sprinkler with Downward Spray for Prevention of Drop Water

Hong Gyoo Kim^{1*} and Sung Won Chung²

¹Department of Mechanical and Intelligent System Engineering, Graduate School, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²School of Bio System Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

Abstract. A study was conducted to find mechanism and spray characteristics of a mini-sprinkler with downward spray to develop a new design type to be able to prevent drop water. The experiments were executed in a plastic greenhouse to minimize the effect of the wind. Data was collected at five different operation pressures and at 4 different raiser heights. Spray characteristics of the sprinkler such as effective radius, effective area, mean application depth, absolute maximum application depth, effective maximum application depth and coefficient of variation were determined. In order to analyze the mechanism and packing supporter of sprinkler, the numerical simulation using ABAQUS was performed. The optimum pressure for preventing drop water was determined.

Key words : 3D modelling, packing design, simulation, spray performance, structure analysis

*Corresponding author

서 언

전 세계적으로 경제 블록이 형성되고 자국의 수출품을 보호하기 위하여 타국에 문호를 개방하여야 하는 실정에 처해있는 가운데 특히 농산물의 수입개방에 대응하기 위해서는 국제 경쟁력을 갖춘 고품질의 부가가치가 높은 농산물을 저비용으로 생산하여야만 한다. 이를 위하여 재배 작물의 최적 환경조성을 형성하여야 하는데 그 가운데 관수를 위하여 사용되는 스프링클러 설비가 중요한 역할을 한다. 특히 온실에 미니스프링클러를 이용하여 물이 공급되는 시스템에서는 공급관내에 있는 물이 일정한 압력이상 유지하지 못하면 스프링클러의 받침대 저부에서 물방울이 형성되어, 성장 초기의 작물 위에 반복해 떨어지게 되면 재배작물에 상처를 주고 성장 장애를 주게 되는 문제가 발생되어 왔다(Dadio와 Wallender, 1985). 농작물의 생산성증대를 위해서는 이러한 문제는 해결하여야 하며, 이를

위해 낙수방지 구조의 미니스프링클러의 개발이 요구된다.

일반적으로 온실에서 각종 농작물을 축성 재배할 때에는 농작물에 용수를 원활하게 공급하기 위하여 천정에 길이방향으로 용수관을 설치하고, 그 용수관에는 일정간격으로 분기한 접속관을 구비하여 접속관 하단에는 미니스프링클러를 설치하게 된다. 용수 공급펌프로 용수를 공급하게 되면 수압이 형성되면서 접속관으로 용수가 공급되어 미니스프링클러의 회전판에서 살수가 이루어지게 되고 이를 주기적으로 동작시켜 농작물에 물을 공급하게 된다.

미니스프링클러는 접속관과 연결되며 용수관에서 용수가 공급되면 일정 압력이하의 공급용수를 차단하는 압력제어부가 없기 때문에 용수 공급압력이 직접적으로 스프링클러 몸체의 하단부까지 전달되어 물이 분사되는 방식이다. 이는 용수 공급펌프로 용수를 공급하는 초기에 관내 수압이 발생할 때와 용수공급이 중단되는

동안에 미니스프링클러 접속관내의 공급압력이 대기압과 평형상태가 되면, 공급되는 물의 자중(自重)과 중력작용에 의한 자유낙하로 접속관을 통과하여 스프링클러 몸체 하단부로 직접 전달되고 스프링클러의 받침대 저부에 물방울이 형성되어 낙수 발생으로 연결된다.

낙수에 의한 농작물의 피해를 막기 위해서는 용수를 공급하거나 중단될 때 수압이 대기압과 평형상태에 있는 동안 스프링클러의 본체로 공급되는 용수를 차단할 수 있는 스프링클러의 구조설계 및 제품개발이 요구되며, 이를 위해서는 압력변화에 따른 살수특성 분석이 필요하다.

스프링클러의 살수 특성에 대한 연구로는 살수 특성을 나타낼 수 있는 지표들을 제시(Boman, 1989)하였고, Boman이 제시한 지표를 이용하여 인도에서 생산되고 있는 스프링클러의 살수 특성에 관한 실험 결과를 보고하였다(Pandey et al., 1995). 그 외 연구들로서는 레이저 프로브 장치를 이용하여 스프링클러로부터 살수되는 물방울 크기의 분포를 조사하여 압력의 증가에 따라 물방울의 크기와 상관관계를 분석하였고(Chaya와 Hills, 1991), 분구의 구경과 살수량 및 살수 강도에 관한 조사(Suh 등, 1996)와 살수 입자 도달거리별 크기를 조사(Suh와 Sung, 1997)하였으며, 컴퓨터 영상처리 장치를 이용하여 분무입자의 크기 및 분무 분포상태(Kim, 1995) 등에 관한 연구가 진행되어 여러 가지 방법이 제안되어 왔다. 그러나 미니스프링클러의 메카니즘이나 낙수방지 시스템에 관한 연구 자료는 거의 전무한 실정이다. 현재 국내에서 사용되고 있는 각종 농작물의 축성 재배를 위한 온실 관개용 미니스프링클러 제품에 대한 기술 자료는 관련 생산업체에서 사용자가 편리하게 제품을 선택할 수 있도록 각 규격별, 사용 압력에 따른 살수 범위만이 카달로그(catalogue)를 통하여 공개하고 있으며, 이를 이용한 관개설계 및 살수 특성을 제공하지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 하향 분사식 미니스프링클러의 본체 접속부에 용수가 공급될 때와 공급이 끊어질 때 대기압과 평형상태에 있는 동안 스프링클러의 본체로 물의 공급을 차단하는 기능을 갖도록 하기 위하여, 일반적인 구조와 메카니즘을 갖고 있는 미니스프링클러와는 달리 새로운 제안으로 패킹부와 2차 회전판 및 안내판을 구성한다.

제안 메카니즘에서 패킹부의 기능은 대기압과 평형

상태에서는 공급용수가 차단되는 제어 역할을 하는 것으로서 패킹과 그것을 지지하기 위한 패킹 지지부와 패킹 연결지지체를 설치한다. 또한 패킹부에서 용수 공급을 차단하는 동안에는 미니스프링클러의 몸체 내에 잔류하는 물은 1차 회전판에서 살수되고, 여기서 살수되지 못하고 잔류하는 물은 물방울이 형성되지 못하도록 안내판을 따라 2차 회전판으로 유도되어 재 살수가 되도록 한다.

제안 미니스프링클러에서는 압력의 변화에 따라 낙수가 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 제품의 3D 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션을 행하고 사용되는 패킹부의 압력분석과 구조해석을 실시하여 새로운 미니스프링클러 제품을 개발하고, 실험을 통하여 제안 미니스프링클러의 살수 성능을 분석하여 그 특성을 규명하고자 한다.

재료 및 방법

1. 미니스프링클러 패킹부

본 연구에서는 제안된 하향 분사식 미니스프링클러(Fig. 1)의 메카니즘에서 낙수 방지를 위해 가장 중요한 역할을 하는 것으로서 대기압과 평형상태일 때는 공급용수의 차단 기능을 갖는 패킹부 설계와 메카니즘의 적합성을 확인하기 위해 패킹부 메카니즘 분석과 구조해석을 통하여 대기압과 평형상태에서는 공급용수가 차단되고, 낙수발생으로 연결되지 않는 구조를 갖는 하향 분사식 미니스프링클러의 메카니즘을 확정한다.

패킹부 소재의 물성

본 연구에서 패킹재는 각종 자동차 타이어 튜브에

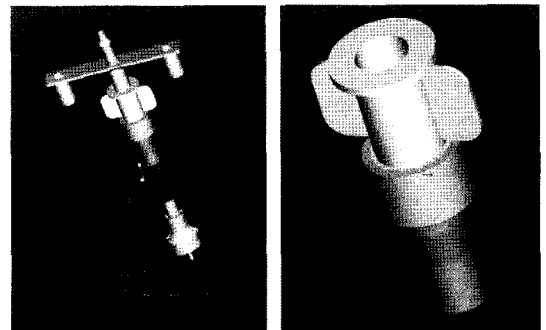


Fig. 1. Modelling of mini-sprinkler with packing supporter parts.

Table 1. Property of packing material.

Property	Result
Specific Gravity	0.92
Shore Hardness	60
Tensile Strength (kgf/cm ²)	175
Elongation (%)	350

Table 2. Property of packing supporter material.

Property	Method	Specification	Result
Tensile Strength (MPa)	ASTM D638	61 (min.)	68
Elongation at break (%)	ASTM D638	60 (min.)	68
Flex (MPa)	-	2500 (min.)	2577
I-Zod (Joule/M)	-	108 (min.)	137
Melt flow index (g/10min)	ISO 1133	1.9~3.4	2.75

사용되고 있으며, 사용 온도는 -40~60°C의 범위로서, 내굴곡 균열성과 내압축 영구줄음을 및 기타 기계적 성질이 우수한 물성치(Table 1)를 갖는 천연 고무 (ASTM; NR)를 선정하였다. 또한 패킹지지체 소재는 비중이 0.9정도이며, 강성과 내충격성이 뛰어나고 가격이 싸고 이용범위가 광범위한 폴리프로필렌(PP)을 원료로 선정하여 사출제품으로 성형하였다(Table 2).

미니프링클러 패킹부 메카니즘 분석

미니프링클러의 패킹부가 용수의 공급압력 변화에 따라 얼마나 잘 대응할 수 있는지에 따라서 낙수발생 정도가 결정된다. 이러한 메카니즘 분석을 위해 3D 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였으며 이를 통하여 새로운 미니프링클러의 구조를 설계 하였다.

본 컴퓨터 모사는 미니프링클러의 전 부분을 해석 하지 않고, 실질적으로 용수의 공급 압력을 조절할 수 있는 패킹 부분을 모델링하고 해석하였다. 그 부품으로는 패킹과 미니프링클러의 몸체로 연결되는 ‘몸체 연결부’와 ‘패킹’, ‘패킹 지지부’ 그리고 패킹 어셈블리를 지지하고 있는 ‘패킹 지지부’를 해석하였다. 모델링 은 새로운 구조의 메카니즘을 구상하여 설계한 부품 도면과 조립도면을 중심으로 작성하였으며, 해석 조건 으로는 실험을 통하여 얻은 각 재료의 물성을 적용하였다.

모델링 부분은 축 대칭이므로 실질적으로 1/4만 해석하는 것이 타당하므로 본 연구에서는 1/2부분을 해

석하고 경계조건으로는 대칭 조건을 사용하였다.

본 해석에 적용한 경계조건은 축대칭 경계조건과 미니프링클러 몸체와의 연결부는 이탈이 없다는 가정 하에 수직방향으로의 움직임은 없는 것으로 하였다. 그리고 내부에 압력이 작용하도록 설정압력을 적용하였다.

해석을 위한 mesh generation은 모든 부분에 동일한 형태로서 3차원 응력해석을 위한 메쉬를 적용하였고, element type은 축 방향을 따라 생성되는 Hex element를 적용하였다. 적용된 메쉬는 C3D8R(An 8-node linear brick, reduced integration, hourglass control) 요소이며, element의 몸체 연결부는 5,533개, 패킹 부분은 2,085개, 패킹 지지부는 4,416개 그리고 패킹 연결지지체는 1,785개이다.

2. 구조해석

낙수 방지용 미니프링클러의 사용 압력은 1.1~3 kgf/cm²을 목표로 본 해석을 통하여 패킹을 선정하고 설정압력을 결정하였다. 여기서는 미니프링클러의 성능시험을 만족할 수 있는지에 대해 구조해석을 실시 하여 새로운 구조를 갖는 미니프링클러 메카니즘의 설계 내용을 검증하였다.

내부압력이 1.1~3 kgf/cm²으로 작용할 경우, 미니프링클러의 패킹부에서 발생하는 von Mises stress와 displacement를 조립상태에서 구조해석을 하였으며, 본 해석에 사용한 프로그램으로 모델링을 위해서는 Pro Engineer(PTC Corp., 2005)를 사용하였고, 모델링 형상을 igs파일로 변환하였다. 실제 해석을 위해 AB-AQUS 프로그램(HKS Inc., 1999)을 사용하였다.

3. 살수성능시험

미니프링클러의 작용 압력별 살수성능을 파악하기 위한 실험장치를 구성(Fig. 2)하여 살수높이를 0.2 m로 고정하고 압력계와 정압밸브를 사용해서 대기압이상의

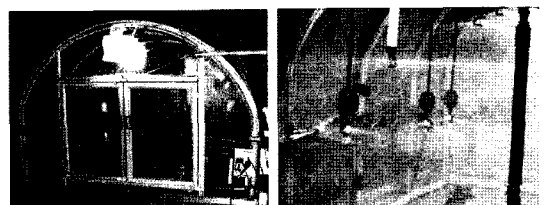


Fig. 2. Experiment for spray characteristics analysis of a mini-sprinkler with downward spray.

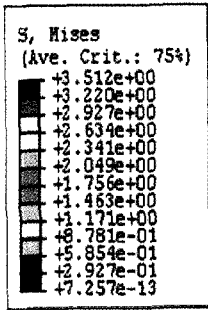


Fig. 3. von Mises stress distribution at 1.1 kgf/cm² pressure.

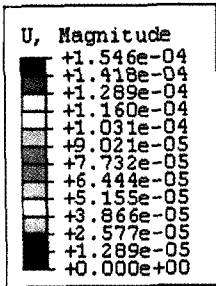


Fig. 4. Displacement distribution at 1.1 kgf/cm² pressure.

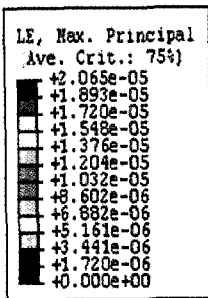
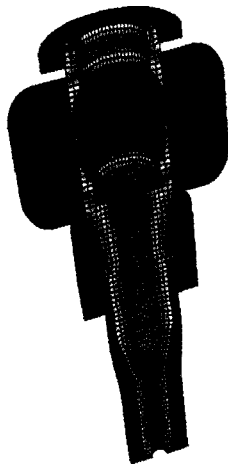
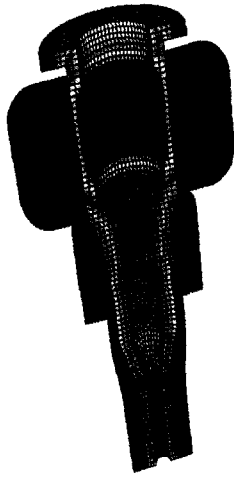


Fig. 5. Strain distribution at 1.1 kgf/cm² pressure.



작용압력인 1.1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 kgf/cm²으로 설정하여 각각에 대한 살수특성 실험을 실시하였다.

또한 살수높이별 살수성능을 파악하기 위하여 작용압력별 살수성능의 변화 실험에서 거의 평균값을 나타내고 있는 작용압력 2.0 kgf/cm²으로 고정하고, 살수높이를 0.2, 0.3, 0.4, 0.5m로 하여 각각에 대한 살수특성 실험을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 구조해석

설정압력 1.1 kgf/cm²일 경우

패킹 내부에 1.1 kgf/cm²의 수압이 작용할 경우, 몸체 연결부와 패킹, 패킹 지지부, 패킹 연결지지체를 해석한 결과, 몸체에 작용하는 응력은 3.512 kgf/cm²이 발생하였다(Fig. 3). 이것은 선정한 소재를 이용하여 시제품을 제작할 경우, 충분한 내압을 견딜 수 있는 것으로 판단이 된다. 그리고 설정압력이 작용하였을 때 발생하는 변형(displacement)을 해석한 결과, 1.546 × 10⁻⁴ mm가 발생하였다(Fig. 4). 이 값은 거의 변형 발생이 없다는 것을 의미하며 설계내용의 타당성을 검증할 수 있다. 변형을 또한 2.065 × 10⁻⁵으로 매우 작다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

설정압력 3 kgf/cm²일 경우

패킹 내부에 3 kgf/cm²의 수압이 작용할 경우 몸체 연결부와 패킹, 패킹 지지부, 패킹 연결 지지체를 해석한 결과 몸체에 작용하는 응력은 10.54 kgf/cm²이 발

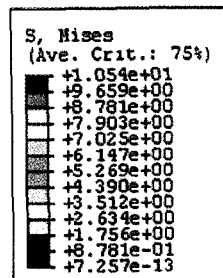


Fig. 6. von Mises stress distribution at 3 kgf/cm² pressure.

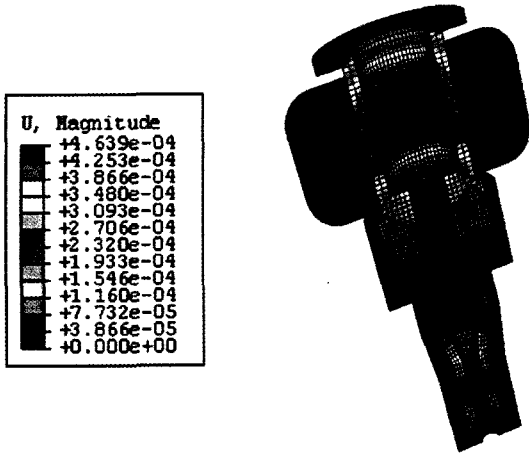


Fig. 7. Displacement distribution at 3 kgf/cm² pressure.

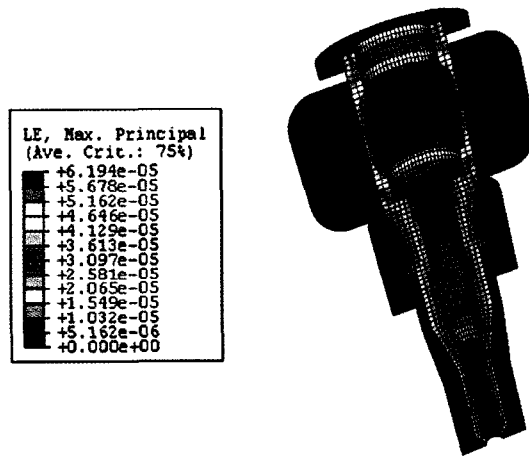


Fig. 8. Strain distribution at 3 kgf/cm² pressure.

생하였다(Fig. 6). 이것은 선정한 소재를 이용하여 시제품을 제작할 경우, 충분한 내압을 견딜 수 있는 것으로 판단이 된다. 그리고 설정압력이 작용하였을 때 발생하는 변형(displacement)을 해석한 결과 $4.639 \times$

10^{-4} mm가 발생하였다(Fig. 7). 이 값은 거의 변형 발생이 없다는 것을 의미하며 설계 내용의 타당성을 검증할 수 있다. 변형을 또한 6.194×10^{-5} 으로 매우 작다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8).

2. 성능시험

작용 압력별 살수성능의 변화

작용 압력별 살수성능 실험결과(Table 3)에서 유효 살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효 최대살수심은 작용 압력이 증가함에 따라 모두 증가하는 것으로 나타났다. 제안 패킹부 메카니즘을 적용한 미니스프링클러의 경우, 작용압력이 1.5 kgf/cm^2 을 기준으로 그 이하로 낮아지면 살수반경이 약간 줄어들면서 물방울의 크기가 증가하게 되고, 반대로 작용압력이 2.5 kgf/cm^2 이상으로 높아지는 경우에는 살수반경이 늘어나며 물방울의 크기는 아주 미세하게 나타났다.

변이계수는 표준편차의 평균치에 대한 비율이며 각각 다른 정도를 상대적으로 나타내는 지표로서, 작용압력 증가에 따라 변이계수가 감소현상을 보이고 있는 것은 살수과정에서 물방울의 크기가 일정하고 아주 미세하다는 의미를 갖고 있으며, 살수성능은 반대로 증가하는 것으로 나타났다.

또한 공급압력이 1.1 kgf/cm^2 을 기준으로 그 이하에서 제안된 패킹부에 의해 공급용수가 차단되고 스프링클러 몸체내에 잔류하는 물은 1차 회전판과 본 실험에서 별도로 설치한 2차 회전판에서 살수되어 낙수가 거의 발생되지 않았다. 이것은 용수 공급초기의 수압이 발생될 때와 중단되는 과정에 대기압과 평형상태에서는 미니스프링클러의 접속부로 공급되는 용수가 본 연구에서 제안된 패킹부에서 차단되어, 물의 지중과 중력 작용에 의한 자유낙하를 방지함으로써 물방울의 형성

Table 3. Spray characteristics at different pressure and 0.2 m height.

Spray characteristics	Pressure (kgf/cm ²)				
	1.1	1.5	2.0	2.5	3.0
Effective radius (m)	2.38	2.50	2.53	2.55	2.89
Effective area (m ²)	4.12	4.93	5.01	5.22	6.98
Mean application depth (mm/h)	4.68	4.81	5.05	5.75	6.10
Absolute max. application depth (mm/h)	13.9	16.4	20.0	23.0	25.8
Effective max. application depth (mm/h)	12.8	15.4	17.8	19.9	21.3
Coefficient of variation (%)	125	120	117	112	94
Dropped water (naked eye distinction)	None	None	None	None	None

Table 4. Spray characteristics at different heights with 2.0 kgf/cm².

Spray characteristics	Heights (m)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
Effective radius (m)	2.53	3.24	3.10	2.89
Effective area (m ²)	5.01	8.28	7.54	7.38
Mean application depth (mm/h)	5.05	4.00	3.52	3.43
Absolute max. application depth (mm/h)	20.0	17.2	19.8	19.6
Effective max. application depth (mm/h)	17.8	11.4	13.1	14.5
Coefficient of variation (%)	117	115	101	96
Dropped water (naked eye distinction)	None	None	None	None

및 낙수 발생의 예방을 의미한다.

살수높이별 살수성능의 변화

작용압력별 살수성능의 변화 실험에서 거의 평균값을 나타내고 있는 공급압력 2.0 kgf/cm²으로 고정하고, 살수높이별 살수성능의 변화(Table 4)를 관찰하였다. 유효살수반경과 유효살수면적은 살수높이가 0.2 m일 때 가장 낮은 값을, 0.3 m일 때 가장 높은 값을 나타내었고, 0.4 m 이상 살수 높이가 높아지면 오히려 감소하였다. 평균살수심은 살수높이가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 변이계수도 살수높이가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 살수높이에 따라 평균살수심이 감소하기 때문이다. 즉, 살수높이가 높아질수록 변이계수는 감소하고 살수성능은 양호한 것으로 나타났다.

적 요

본 연구는 하향 분사식 미니스프링클러의 낙수방지를 위한 새로운 제안으로 패킹부를 구성하여 패킹과 패킹지지부, 패킹 연결지지체의 메카니즘 분석과 구조 해석을 통하여 패킹부 소재 선정의 타당성을 확인하여 하향 분사식 미니스프링클러의 낙수방지 메카니즘을 개발하고, 제품을 제작하여 살수특성 실험을 수행한 결과는 다음과 같다. 낙수방지를 위하여 삽입되는 패킹부의 재료는 구조해석결과, 압력변화에 대응할 수 있는 재질로서 패킹재는 천연고무(ASTM; NR), 패킹지지체는 폴리프로필렌(PP)이 적합함을 확인하였다. 성능시험 결과, 미니스프링클러의 접속관에 용수를 공급할 때와 중단되는 과정의 대기압과 평형상태에서 선정된 패킹 및 패킹지지체는 압력제어 기능을 정확히 수행하여 낙수

가 거의 발생하지 않고, 압력변화에도 민감하게 대응함을 확인하였다. 작용압력별 살수특성 성능을 분석한 결과, 유효살수반경, 유효살수면적, 평균살수심, 최대살수심, 유효최대살수심은 작용압력이 증가함에 따라 모두 증가하는 것으로 나타났다. 살수높이별 살수특성 성능을 분석한 결과, 유효살수반경과 유효살수면적은 살수높이가 0.2 m일 때 가장 낮은 값을, 0.3 m일 때 가장 높은 값을 보였고, 그 이상 살수 높이가 높아지면 반대로 감소하였으며, 평균살수심은 살수높이가 높아질수록 감소하였다. 제안된 하향 분사식 미니스프링클러는 패킹부의 영향으로 압력이 증가함에 따라 살수성능이 유연성 있게 변화하여 급격한 변화를 나타내지 않았고, 용수압력이 감소될 때에는 작용압력이 1.1 kgf/cm² 이상의 범위에서만 살수되었으며, 그 이하에서는 제안된 패킹부에 의해 하향 분사식 미니스프링클러 본체로 공급되는 용수가 차단되어, 대기압과 평형상태에 있는 물의 자중과 중력작용에 의한 자유낙하를 방지함으로써 물방울의 형성 및 낙수 발생의 예방을 확인하였다.

주제어 : 구조해석, 살수성능, 3차원 모델링, 시뮬레이션, 패킹설계

사 사

본 논문은 부산대학교의 자유과제 학술연구비(2년) 지원에 의해 연구된 것입니다.

인 용 문 헌

1. Boman, B.J. 1988. Distribution pattern of micro-irrigation spinner and spray emitters. ASAE Applied Engi-

- neering in Agriculture 1:50-56.
2. Chaya, L.A. and D.J. Hills. 1991. Droplet size and drift potential from micro-sprayer irrigation emitters. Transactions of the ASAE 34(6):2453-2459.
 3. Dadiao, C. and W.W. Wallender. 1985. Droplet size distribution and water application with low-pressure sprinklers. Transactions of the ASAE 28(2):511-516.
 4. Frost, K.R. and H.C. Schwalen., 1955. Sprinkler evaporation losses. Agricultural Engineer. 36(8):526-528.
 5. Hibbitt, Karlsson and Sorensen(HKS) Inc. 1999. ABAQUS Ver. 5.8 User's manual.
 6. Kim, T.H, 1995. Analysis of droplet size and distribution of mini-sprinkler. A thesis for the master degree, Chonnam National Univ. (in korean).
 7. Pandey, A.K., Chauhan, H.S., Singh, K.K., and Shukla, K.N. 1995. Distribution characteristics of micro-sprinklers. Proc. 5th Int. Microirrigation Congress, F.R. Lamm (ed), p857-862. ASAE, St. Joseph, MI.
 8. Parametric Technology Corporation(PTC). 2005. Pro/Engineer Wildfire Ver. 2.0 User's manual.
 9. Salyani, M. and J. Serdynki. 1990. Development of a sensor for spray deposition assessment. Transactions of the ASAE 33(5):1464-1468.
 10. Suh, S.R. Yoo, S.N. and Sung, J.H. 1996. Experimental study on Performance of mini-sprinkler-(1) sprinkling flow rate and sprinkling intensity pattern. J. Bio-Fac. Env. 5(2):194-201 (in korean).
 11. Suh, S.R and Sung, J.H. 1997. Performance of mini-sprinkler-(2) size of droplets. J. Bio-Fac. Env. 6(3): 183-189 (in korean).