

FOG SYSTEM을 이용한 여름철 온실냉방

Greenhouse Cooling by Fog System

서 원 명* · 윤 용 철* · 이 중 렬* · 이 석 건**
Suh, Won Myung · Yoon, Yong Cheol · Lee, Jong Yeol · Lee, Suk Gun

Abstract

This study was performed to improve undesirable warm greenhouse environment by fog cooling system in summer season. The results of droplet size analysis and cooling effects for fog cooling system are summarized as follows:

1. At the pump pressure of 70kgf/cm², the mean(SMD) drop size was 22.6 μ m and the maximum and minimum drop size was 45.68 μ m and 1.73 μ m, respectively, and almost all of the drop size was less than 40 μ m.

2. The temperature of fog cooling greenhouse with 60% shading was dropped more than 2 $^{\circ}$ C below the ambient temperature, while the greenhouse temperature without shading was 1 $^{\circ}$ C higher than the ambient temperature.

3. It was found that fog spraying intervals were significantly influential on cooling effect.

4. When the greenhouse was ventilated sufficiently by natural vent system, greenhouse temperature could be maintained by 2.5 $^{\circ}$ C lower than the ambient temperature, while it was difficult to drop the greenhouse temperature below ambient temperature without sufficient ventilation.

5. It was found that the temperature of experimental greenhouse could be maintained 3 $^{\circ}$ C to 14 $^{\circ}$ C lower than that of control greenhouse, though there were variations depending on experimental and weather conditions.

I. 서 론

온실의 환경조절 목적은 최고 품질의 작물생장으로 최대의 수익을 올릴 수 있도록 제반 환경인자를 최적 조건으로 조성해 주는데 있으며, 이러한 환경조건 중에서 특히 온도는 작물의 광합성이

나 호흡작용 뿐만아니라 작업환경에도 큰 영향을 주는 주요 인자이다.

최근 온실의 고급화에 따른 생산성 제고를 위하여 연중 작물재배가 시도되면서 하절기의 고온현상이 작물의 생장을 저해하고 또 온실내의 작업환경을 악화시키는 등 여러 가지 문제점을 낳고 있다.

*경상대학교 농과대학

**경북대학교 농과대학

키워드 : 온실, 포그시스템, 냉방, 분무노즐, 실험

이러한 하절기 온실의 고온현상에 대처하기 위한 환경관리기술 부족으로 작물재배가 부실하거나, 대부분 휴작함으로써 온실의 이용효율 및 주년 안정 계획생산에 차질을 빚고 있다. 또한 작물의 재배기술 발달로 인한 재배작물의 다양화와 함께 화훼류와 같은 고부가가치 작물의 연중출하를 위해서는 하절기 온실의 고온극복을 위한 냉방대책이 절실히 요구된다.

그러나 우리 나라 기상여건을 고려한 온실의 여름철 고온대책에 대한 체계적인 연구는 매우 미비한 상태이며, 또한 대부분의 연구가 이론적인 접근에 불과하고 실험적인 연구결과는 거의 찾아볼 수 없다.¹⁻⁸⁾

여름철에는 태양일사량으로 인한 주간 동안의 고온현상은 물론 야간에도 온실바닥면 등에 축적된 열로 인하여 온실내 기온은 외기온보다 높다. 이러한 온실내 온도를 외기온 이하로 낮추기 위해서는 적극적인 냉방방법이 요구된다.

온실냉방방법에는 에어컨이나 히트펌프 등을 이용한 기계적 냉방방법과 수분증발을 이용한 증발식 냉방방법으로 대별할 수 있다. 이 중 기계적인 냉방방법은 시설비나 유지관리비가 과대하여 상업용 온실에는 이용이 어려우며, 증발식 냉방방법도 포그시스템을 제외하고는 경제성 및 효율성 측면에서 매우 불리하다고 보고되어 있다.³⁻⁶⁾

따라서 본 연구에서는 비교적 설치도 용이하며, 그 효과면에서 실용성이 높은 포그시스템을 이용하여 여름철 온실의 온도강하 효과를 실험적으로 고찰하였다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

가. 노즐의 선정

물의 증발속도, 즉 공기의 냉각률은 물방울의 크기가 작아지는데 비례해서 증가한다. 그러므로 물방울 입자를 얼마나 미세하게 만들 수 있는지가 포그시스템의 효율을 결정하는 중요한 인자이다.

본 연구에 사용된 Mee Fog 노즐은 70kgf/cm²이

상의 압력을 낼 수 있는 고압 펌프용 노즐이다.

나. 실험대상 온실

본 실험에 사용된 온실은 경상대학교 기상관측소에 설치된 폭 5.4m, 길이 20m, 측고 3m, 동고 5m인 1-2W형 파이프 2연동 온실이다. 온실의 환기창은 천창 및 측창이 2개씩이며, 환기창의 크기는 천창의 열림폭이 0.7m이고 측창은 1m이다. 환기창의 길이는 천·측창 공히 18m이며, 온실의 피복은 1층으로 경질 플라스틱(PET)으로 되어있다. 일사 차단용 차광막은 거울철 보온용 부직포를 사용하였다. 부직포의 차광율은 일사량에 따라 다소 차이는 있지만 대략 60% 정도이다.

다. Fog system의 구성

Fog 냉방실험을 위한 주요 구성도는 Fig. 1과 같이 고압펌프, 포그노즐, 고압호스, 미세필터, 양수펌프, 물탱크 및 control box로 이루어져 있다.

노즐은 설치간격을 1.5m로 하였으며, 지상으로부터 2.1m 높이에 작물의 성장방향과 수직으로 각동에 2줄씩 총 4줄로 설치하였다. 그리고 고압펌프의 분무압력과 노즐에서 분무되는 실제 분무압력을 비교하기 위하여 고압호수 끝에 두 개의 압력계를 부착하였다.

고압펌프는 최대 압력을 150kgf/cm²까지 높일 수 있는 공업용 펌프이며, 미세필터는 30 μ m 이하의 미세한 입자까지 여과시킬 수 있는 것이다.

라. 계측 장치

본 실험에 사용된 계측장치는 온도 계측용 센서부, 데이터 처리부 및 컴퓨터로 구성되어 있다.

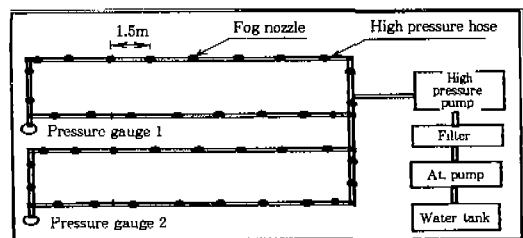


Fig. 1. Schematics of fog system layout

1) 온도 계측장치

온도 계측은 온도센서인 열전대(thermocouple, T-type)를 이용하여 실험온실과 대비온실의 각 부위별 및 외부 백엽상에 Aspirated thermometer 형식으로 설치하여, 전구온도와 습구온도를 동시에 측정토록 하였다. 즉 측정 중에 발생할 수 있는 Noise의 방지와 정확한 온도계측을 위하여 PVC 파이프(ϕ 10cm \times L50cm)안에 온도센서를 설치하였고, 소형 유동팬을 설치하여 약 3m/s 이상으로 실내공기를 유동시켰다. 그리고 파이프 및 습구온도 센서의 물공급장치 등에 은박지를 피복하여 직달일사에 의한 영향을 차단하였다.

2) 일사량 계측장치

일사량 계측에는 열전대(T-type)를 이용한 일사량계가 사용되었고, 온실외부는 실험온실에 인접한 약 3m 높이의 건물옥상에 설치한 일사량계로서, 그리고 온실내부는 휴대용 일사량계로서 일사량을 측정하였다.

3) 데이터 처리장치

데이터 계측장치(Daytronics Co. DATA PAC model NO:system 10)는 열전대의 형식과 입력 주소를 지정하면 측정온도를 모니터로 즉시 출력하게 되고, 외부출력이나 저장이 가능한 통신장치를 갖추고 있다. 따라서 컴퓨터와 RS-232C 통신장치로 데이터를 처리하였다.

마. 입자분석기

분무입자의 크기 및 평균입자 분석에는 Fig. 2와 같은 입자분석기 PMAS(MX-II)(Particle Motion Analysis System)를 사용하였다.

2. 실험방법

가. 노즐의 분무특성 실험

포그노즐의 분당분무량, 분무입자의 크기 및 입경별 분포를 분석을 위하여 17°C의 수도물로 아래와 같이 분무특성 실험을 실시하였다.

1) 펌프의 압력과 노즐의 실분무압 비교

펌프의 압력과 노즐에서 분무되는 실제 분무압력을 비교하기 위해 고압호스 끝(Fig. 1 참조)에

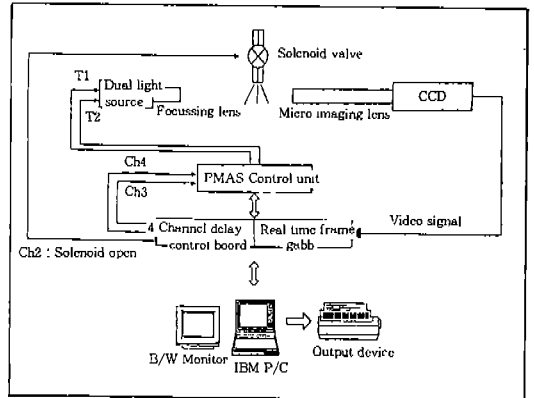


Fig. 2. Schematics of the PMAS(MX-II) system

압력계를 부착하여 펌프의 압력을 30~90kgf/cm²까지 10kgf/cm²씩 증가시키면서, 그리고 반대로 90~30kgf/cm²까지 10kgf/cm²씩 감소시키면서 각각 5회 반복실험을 실시하였다.

2) 분당분무량

분당분무량은 수조와 펌프중간에 유량계를 설치하여 고압펌프의 압력을 증감시키면서 각 압력별 분무량을 1분단위로 각각 3회 반복실험을 실시하였다.

3) 분무입자의 크기

일반적으로 노즐은 분무할 때 분무특성상 중공이 형성되므로 분무입자의 크기 및 평균입경은 이러한 중공현상이 완전히 끝나는 부분에서 측정하여야 한다. 본 실험에서는 중공현상이 끝나는 부분인 노즐로부터 7cm인 지점, 그리고 작불의 높이에 해당되는 노즐로부터 50cm 지점에서 각각 고압펌프의 분무압력을 30~90kgf/cm²까지 10kgf/cm²씩 증가시키면서 10회 반복 측정하였다.

또한 다른 노즐에서 발생하는 입자의 간섭을 피하기 위하여 측정용 노즐을 제외한 여타 노즐들은 비닐 호스로 봉하여 분무입자의 부유현상을 방지하였다.

나. Fog system의 냉방실험

실험대상 온실은 바닥면적이 216m²이고, 용적은 1,169.3m³이다. 본 실험에서는 농가의 환기여건을

Table 1. Experimental design for fog cooling system

Items Case	Shading(%)	Roof vent.	Side vent.	Fog operation(min)		Solar radiation (MJ/m ²)	Wind velocity (m/s)
				On	Off		
Case- 1	-	close	close	0.5	1.0	16.93	3.3
Case- 2	-	close	close	1.0	2.0	18.79	1.0
Case- 3	-	close	open	0.5	1.0	16.93	3.3
Case- 4	-	close	open	1.0	1.5	12.75	1.9
Case- 5	-	close	close	1.0	2.0	21.77	1.0
Case- 6	-	close	1/4 open	1.0	2.0	19.91	0.7
Case- 7	-	close	open	0.5	1.0	16.93	3.3
Case- 8	60	close	1/3 open	1.0	2.0	17.90	1.3
Case- 9	60	close	open	0.5	1.0	24.01	1.8
Case-10	60	close	open	0.5	2.0	24.01	1.8
Case-11	60	close	open	1.0	2.0	18.36	1.5
Case-12	60	close	open	1.0	1.5	14.46	3.1
Case-13	60	open	open	0.5	3.0	24.01	1.8
Case-14	60	open	open	0.5	4.0	24.01	1.8
Case-15	60	open	open	0.5	5.0	24.01	1.8
Case-16	60	open	open	1.0	2.0	21.94	1.2
Case-17	60	open	open	1.0	3.0	21.94	1.2
Case-18	60	open	open	1.0	2.0	17.83	1.2
Case-19	60	open	open	1.0	1.5	20.83	2.0
Case-20	60	open	open	1.0	1.5	17.73	1.0

고려하여 자연환기 상태에서만 실험을 실시하였다.

보온커튼용으로 보급되어 있는 부직포를 온실내부에 설치하여 차광막으로 사용하였으며, 환기조건 및 분무간격을 다양하게 변화시키면서 Table 1과 같이 실험을 수행하였다. 단, 본 실험에서는 일사량의 변화나 풍속은 실험조건에서 고려하지 않았다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도 및 일사량의 계측

본 연구에서는 측정된 온도 및 일사량의 검정을 위하여 인근에 위치한 진주기상대의 기상자료와 비교검토 하였다.

본 실험에서 측정한 일사량과 진주기상대의 관측치와의 관계를 대비한 결과 거의 차이가 없는

것으로 나타났고, 외기온도 일사량과 마찬가지로 큰 차이가 없었다. 따라서 본 연구에서는 측정된 온도와 일사량으로 냉방부하량 산정 및 포그냉방 효과를 분석하였으며, 일부 결측된 자료는 기상대의 관측치로 대체하였다.

2. 노즐의 분무특성

포그냉방에 있어서 가장 중요한 인자는 분무입자의 크기로서 최대입경이 50 μ m 이하여야 하고, 99.5% 이상이 40 μ m 이하여야 한다.^{7,9)}

본 연구에서는 포그노즐의 분무특성실험을 통하여 최적조건의 분무압력을 결정하였다.

가. 평균입자 산정법

노즐에서 분사된 입자들은 그 크기가 균일하지 않고 1~100 μ m 정도까지 분포되어 있다. 크기가 다른 많은 입자들의 평균입경을 수학적으로 표시

하는 데는 여러 가지 방법들이 있지만, 분산 정도를 선도 형식으로 나타내어 직감적으로 이해할 수 있는 직경과 입수에 의한 평균법과 체적과 표면적에 의한 평균법(SMD : Sauter Mean Diameter)이 입경분석에 주로 이용되고 있다.

본 분석에 이용된 PMAS(MX-2) 입자분석기도 SMD 평균법을 사용하고 있다.

나. 펌프의 압력과 노즐의 분무압력

펌프의 압력과 실제 노즐에서 분무되는 분무압력을 대비하여 도시해 보면 Fig. 3과 같다.

압력계 1에서는 펌프압력이 낮은 경우, 노즐의 분무압력이 펌프압력보다 다소 큰 값을 보였으나, 펌프압력이 증가할수록 그 차이가 점차 감소하다가 펌프압력 90kgf/cm²에서는 노즐의 분무압이 펌프의 압력과 일치하였다.

압력계 2의 경우는 펌프압력의 크기에 관계없이 실제로 분무되는 노즐의 분무압력이 펌프압력과 거의 일치하였지만, 펌프압력 80kgf/cm²에서만 다소 크게 나타났다.

이와 같은 경향은 10회 반복실험을 통하여 거의 동일하게 나타났다. 이러한 일률적인 오차의 원인은 압력계 자체의 기계적 오차 때문이라 판단되어 펌프의 압력과 실제로 노즐에서 분무되는 분무압이 같다고 간주하여 환산이나 보정없이 펌프의 압력을 노즐의 분무압으로 사용하였다.

다. 압력변화에 따른 분무량

분무압력 변화에 따른 분무량은 Table 2와 같

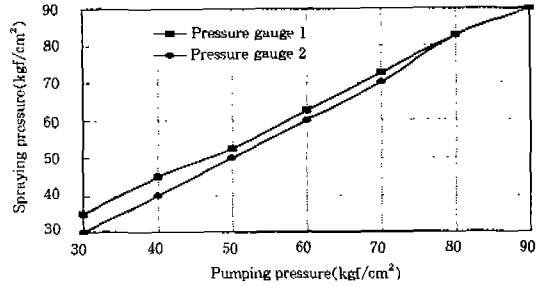


Fig. 3. Comparison between pumping pressure and nozzle spraying pressure

다. 노즐의 분무량은 분무압력 30kgf/cm²에서 50ml, 70kgf/cm²에서 124ml, 90kgf/cm²에서 151ml 정도로 분무압력이 증가할수록 분무량도 증가한다. 그러나 압력증가분에 따른 분무량의 증가분은 분무압력 60kgf/cm²에서 22.50ml로 가장 큰 증가를 보이나, 70kgf/cm²에서 14.55ml, 80kgf/cm²에서 14.31ml, 90kgf/cm²에서 12.96ml로 분무압 70kgf/cm²을 전후하여 분무압의 증가분에 비해 분무량의 증가분이 현저히 둔화되는 경향을 보였다. 이러한 현상은 고압펌프와 포그노즐 사이에 적정분무압력이 존재한다는 것을 시사하고 있다.

라. 분무입자의 분포 및 평균입경

입자분석기를 사용하여 분무압력을 10kgf/cm² 간격으로 변화시키면서 포그입자를 분석한 결과는 Table 3과 같으며 각 분무압력별로 나타나는 최소입경 및 최대입경은 분무압력과 일률적인 상관관계를 보이지 않음을 알 수 있다.

최소입경의 경우, 분무압력이 50kgf/cm², 70kgf/cm²

Table 2. Variations of water amount sprayed according to pumping pressure

Pumping pressure (kgf/cm ²)	Spary water amount(l /min)				Spary water amount per nozzle(ml/min)	Increment of spary water amount(ml)
	first test	second test	third test	average		
30	2.21	2.21	2.17	2.20	50.00	-
40	2.97	2.97	2.98	2.97	67.50	17.50
50	3.78	3.78	3.86	3.81	86.59	19.09
60	4.69	4.90	4.82	4.80	109.09	22.50
70	5.38	5.45	5.50	5.44	123.64	14.55
80	5.98	6.12	6.11	6.07	137.95	14.31
90	6.54	6.65	6.72	6.64	150.91	12.96

Table 3. Variations of drop size according to pumping pressure

Drop size	(unit : μ m)						
	30kgf/cm ²	40kgf/cm ²	50kgf/cm ²	60kgf/cm ²	70kgf/cm ²	80kgf/cm ²	90kgf/cm ²
minimum	2.51	2.22	1.73	2.51	1.73	1.73	2.18
maximum	60.33	60.42	56.71	43.97	45.68	59.94	47.58
mean	38.19	28.44	27.27	25.22	22.63	23.72	23.52

및 80kgf/cm²일 때 공히 1.73 μ m로 가장 작게 나타났으나, 이 외의 분무압에서는 압력의 크기와 특별한 관계를 보이지 않았다. 최대입경의 경우 역시 분무압력의 크기에 따라 일률적인 변화를 보이지 않았다. 다만, 분무압력이 60kgf/cm²까지 증가할 때는 점차 작아지나, 70kgf/cm² 이상에서는 오히려 다시 커지는 경향을 보였다.

평균입경은 분무압력 70kgf/cm²까지는 압력이 증가할수록 작아지다가 70kgf/cm² 이상에서는 오히려 커지는 경향을 보이며, 분무압 70kgf/cm²에서 평균입경이 22.63 μ m으로 가장 작았다. 이러한 현상은 입경분포측면에서 각 포그노즐별로 고유한 적정 분무압력이 존재할 가능성을 시사하고 있다. 따라서 실험대상 노즐에 대한 적정분무압력을 구명하는데는 Table 3의 최소, 최대 및 평균입경의 분석만으로는 미흡하다고 판단되어 각 분무압에서 입경별 입자분포율을 분석한 결과 분무압 70kgf/cm²에서 입경별 입자분포율이 일반적인 포그입경의 표준 한계를 가장 잘 만족하는 것으로 나타났다.

이상의 분무특성실험 결과 입경분포율은 물론 최소, 최대 및 평균입경 등의 크기가 비교적 양호하다고 판단된 분무압력 70kgf/cm²을 포그시스템의 냉방효과 실험용 분무압력으로 선정하였다.

Fig. 4는 선정된 분무압력 70kgf/cm²에서 노즐에서의 거리에 따라 분무입자들의 입경분포 양상을 비율형식으로 나타낸 것이다. 거리가 7cm인 경우 포그입자의 크기는 1.7~45.7 μ m 사이에 분포하며, 입경 30 μ m 이하인 입자는 전체의 95.4% 정도이고, 40 μ m 이하인 경우는 99.79% 정도로서 매우 양호한 분포를 보이고 있다.

그러나 거리 50cm에서는 40 μ m 이상의 입자가 8.5% 정도로 다소 많이 나타났다. 이 때 최대입경

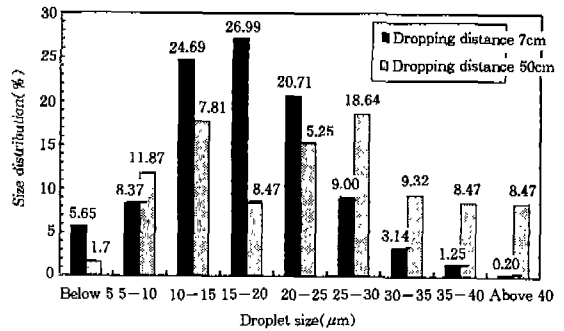


Fig. 4. Drop size distribution at pumping pressure 70kgf/cm²

의 크기는 50 μ m 이하였고, 25~30 μ m 사이의 입경이 전체의 18.64%로 가장 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 분무된 입자들의 낙하거리가 길어지면 입자의 크기가 다소 증가된다는 사실을 발견할 수 있다. 이러한 현상은 분무된 입자들이 공중에 부유하면서 재결합 되기 때문으로 판단된다. 그러나 최대입경의 크기가 50 μ m 이하로서 포그 입경의 한계를 만족하고 있음을 알 수 있다.

3. Fog 냉방실험 결과 분석

가. Fog 냉방실험의 결과 분석

포그시스템을 이용한 냉방실험은 차광상태 및 환기창의 열림상태에 따라서 분무시간과 분무간격을 조합하여 실시하였다.

따라서 차광상태, 환기조건, 분무조건 등에 따른 냉방효과를 알아보기 위하여 실험기간 동안 기상여건이 비교적 유사한 경우를 선택하여 비교 분석하였다. 그러나 시시각각으로 변하는 일사량, 풍속 등이 충분히 고려되지 않아 냉방효과의 절대적인

비교는 어려워 상대적인 차이를 비교할 수 밖에 없었다. 특히 실험온실은 폭이 12.8m에 불과하여 풍속이 강한 날은 바람의 영향을 크게 받았지만 이것 역시 충분히 고려하지 못했다.

1) 무환기온실의 온도 및 습도변화

Fig. 5는 30초 분무에 1분 정지 상태로 포그시스템을 작동했을 때, 외부, 실험구 및 대비구 온실의 건·습구 온도의 변화를 도시한 것으로서 14시 35분경까지 환기구를 완전히 개방했다가 환기구를 완전히 폐쇄하여 포그시스템을 작동한 경우이다. 실험시작 직후부터 온실의 습구온도가 급격히 상승하며, 시간이 경과할수록 건구온도에 접근하여 작동 후 15분경 부터는 거의 포화상태에 이르면서 더 이상의 냉방효과를 기대할 수 없게 됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 폐쇄된 온실내의 공기가 분무로 인하여 완전히 포화되었을 때, 환기를 실시하여 포화된 공기를 밖으로 배출하지 않는 한 포그에 의한 온도강하는 불가능하다는 사실을 시사하고 있다.

포화과정을 보다 정밀하게 살펴보기 위하여 본격적으로 포화가 진행되는 14시 38분부터 포화가 완료되는 14시 48분까지 10분 동안 실험온실의 건구온도, 습구온도 및 상대습도 변화를 도시한 것이 Fig. 6이다.

여기서 알 수 있듯이 포그입자가 분무되는 동안에는 상대습도가 높아지고, 정지시간에는 다시 낮아지는 습도의 변화 폭이 시간의 경과에 따라서 서서히 좁혀지다가 결국에는 거의 포화 상태로 수렴

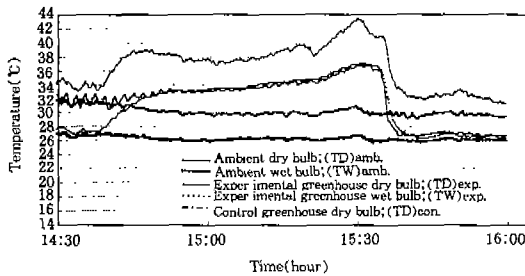


Fig. 5. Temperature drop pattern of non-ventilated greenhouse with fog system operation of 30 second on and 1 minute off

하는 경향을 발견할 수 있다.

Fig. 7은 10시 30분경까지는 환기구를 완전히 개방한 상태에서 포그시스템을 작동하다가 그 이후부터는 환기구를 완전히 폐쇄함과 동시에 1분 분무 1분 정지하는 분무간격으로 13시 30분까지 연속적으로 포그냉방을 실시한 결과이다.

이 경우도 Fig. 6의 경우와 마찬가지로 환기창을 모두 닫은 상태에서는 순시간에 온실내의 공기가 완전히 포화되어 더 이상의 온도강하는 기대할 수 없음을 알 수 있다.

그러나 다시 환기창을 모두 열었을 때인 13시 30분부터는 실험온실의 건구 및 습구온도 모두 급격히 낮아지며, 온도강하 효과는 대비온실과 비교할 때 약 12°C 정도에 달하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 포화과정도 Fig. 6과 같이 정밀하게 도시하여 보면, Fig. 6과 유사한 경향을 보인다. 따라서 무차광, 무환기의 조건에서는 분무량과 분무

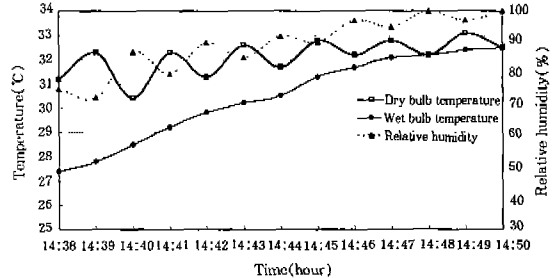


Fig. 6. Typical temperature pattern of non-ventilated greenhouse with fog system operation of 30 second on and 1 minute off

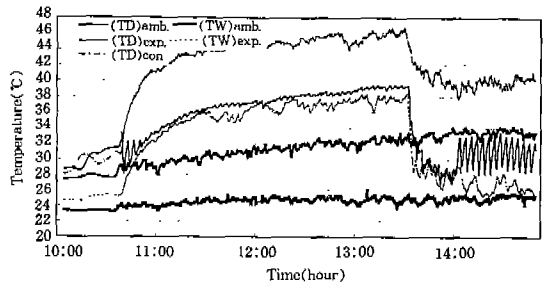


Fig. 7. Temperature drop pattern of non-ventilated greenhouse with fog system operation of 1 minute on and 1 minute off

간격이 다를 경우라도 온실 내의 온도 및 상대습도의 분포는 거의 유사한 경향을 보이나, 단지 실내의 공기가 포화상태로 되는데 소요되는 시간이 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

이상으로부터 포그시스템을 이용한 온실냉방시 환기를 실시하지 않을 경우에는 냉방효과를 기대할 수 없다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 무더운 여름철 증발냉방을 실시할 경우 상대습도와 온실의 환기상태에 따라 냉방효율이 다를 수 있음을 알 수 있다.

결론적으로 자연환기 상태에서 포그냉방 시스템의 효율적인 운용을 위해서는 환기창을 모두 열어서 주위의 공기가 최대한 유입될 수 있도록 해야 하며, 만약 환기창이 부족한 온실의 경우는 환기팬 등으로 충분한 환기를 실시해야만 포그시스템의 냉방효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

2) 차광조건에 따른 포그시스템의 냉방효과

환기조건과 분무조건이 동일한 상태에서 차광상태에 따른 차이만을 비교하였다. 그러나 여기에는 각 처리별로 시간대가 같지 않아 외기조건인 일사량과 풍속 등이 충분히 고려되지 않았다.

i) 무차광시

Fig. 8은 차광을 실시하지 않고 환기창을 모두 열어둔 상태로, 30초분무 1분 정지하는 상태로 포그냉방 실험을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

이 경우 실험구 온실의 습구온도는 외기의 습구온도보다 약 1°C 높게 나타났으며, 실험구 온실의 건구온도는 대비구 온실보다 평균 3°C 정도 낮게 나타났다. 그리고 포그시스템을 가동한 직후에는 실험구 온실의 건구온도가 외기의 건구온도보다 평균 1°C 정도 높으나 시간이 경과함에 따라 거의 같아지는 경향을 보였다.

ii) 60% 차광시

Fig. 9는 60% 차광 하에서 Fig. 8과 동일한 조건으로 포그냉방 실험을 실시하였을 때의 온도변화를 나타낸 것으로서, 실험구 온실의 온도가 28°C에서 32°C까지 4°C의 변화폭으로 거의 일정하게 등락현상을 보이고 있다. 이 시간동안 외기온은 평균 32°C, 실험구 온실의 온도는 평균 30°C, 대비

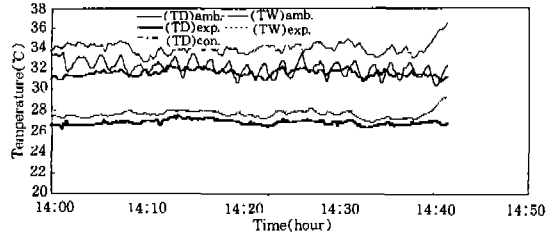


Fig. 8. Temperature drop pattern of fully ventilated greenhouse with fog system operation of 30 second on and 1 minute off

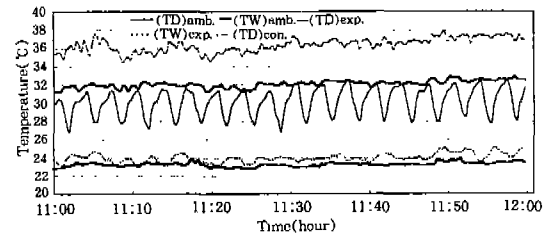


Fig. 9. Temperature drop pattern of fully ventilated and 60% shaded greenhouse with fog system operation of 1 minute on and 2 minute off

구 온실의 온도는 평균 37°C 정도로서 실험구 온실의 온도는 대비구 온실보다는 평균 7°C, 외기온보다는 평균 2°C 정도 낮게 유지되었다.

Table 4는 환기조건 및 분무조건이 동일한 경우, 차광상태에 따른 포그시스템의 냉방효과를 요약한 것으로서, 실험구 온실의 온도는 무차광인 경우가 32.0°C, 60% 차광을 실시한 경우가 30°C로서 차광을 실시한 경우가 2°C 낮음을 알 수 있다. 또한 실험구 온실의 온도강하 효과는 60% 차광을 실시한 경우가 무차광 상태인 경우보다, 외기온에 비해 3°C, 대비구 온실에 비해서는 4.0°C 정도 낮았다.

이상의 결과로 알 수 있듯이 차광조건에 따른 포그시스템의 냉방효과는 외기조건에 따라 다소 차이는 있지만, 차광을 60% 실시할 경우가 상대적으로 냉방효과가 높다. 이러한 현상은 차광을 실시함으로써 온실내로 유입되는 일사량을 감소시켜 온실의 냉방부하량을 그만큼 경감시키기 때문이다.

Table 4. Cooling effect of fog system according to shading conditions

Conditions	(Unit : °C)						
	(TD)amb	(TW)amb.	(TD)exp.	(TW)exp.	(TD)con.	(TD)amb.-(TD)exp.	(TD)con.-(TD)exp.
No shading	31.0	27.0	32.0	27.5	35.0	-1.0	3.0
60% shading	32.0	23.0	30.0	24.0	37.0	2.0	7.0

3)분무조건에 따른 포그시스템의 냉방효과

분무조건에 따른 포그시스템의 냉방효과 분석을 위하여 차광률 60% 하에서, 환기창을 모두 열어 둔 상태로 실험을 실시하였다. 분무조건은 1분 분무에 3분 정지하는 분무간격이 4분인 경우와 1분 분무에 1분 30초 정지하는 분무간격이 2분 30초인 두 경우를 비교하였다.

Fig. 10은 분무간격 4분인 경우의 온도변화를 나타낸 것이며, Fig. 11은 분무간격 2분 30초인 경우의 온도변화를 나타낸 것이다.

Fig. 10의 경우는 오후 2시부터 1시간 동안 실험한 결과로서, 실험구 온실의 온도는 30~34°C 사이에서 등락을 보이고 그 변화폭은 4°C 정도이다. 온도강하 효과는 시간에 따라 약간의 차이는 있지만 대비구 온실에 비해 평균 10°C 정도, 외기온에 비해 평균 3°C 정도로 낮게 나타났다.

Fig. 11의 경우 실험구 온실의 온도는 31°C 이며, 대비구 온실은 37°C, 외기온은 35°C로서, 실험구 온실의 온도강하 효과는 대비구 온실과 비교할 경우 6°C 정도, 외기온과 비교할 경우는 4°C 정도

로 나타났다.

그러나 실험구 온실의 온도분포 경향이 조금 다르다. 즉, Fig. 10의 경우는 포그시스템의 작동 중지하는 거의 외기온까지 상승하는 경향이지만, Fig. 11의 경우는 외기온 보다 2°C 정도 낮은 상태에서 변화하는 경향을 보이며, 또한 Fig. 10의 경우보다 습구온도에 더 근접해 있다.

Fig. 12는 1분 분무에 1분 30초 정지하는 분무간격으로 오전부터 오후까지 연속적으로 냉방실험을 실시한 결과이다. 실험구 온실의 온도는 실험개시 직후부터 서서히 상승하나, 일사량이 감소하

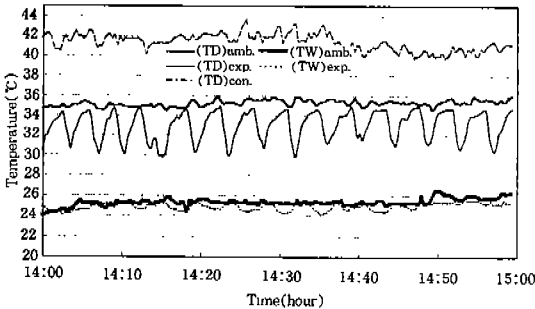


Fig. 10. Temperature drop pattern of fully ventilated and 60% shaded greenhouse with fog system operation of 1 minute on and 3 minute off

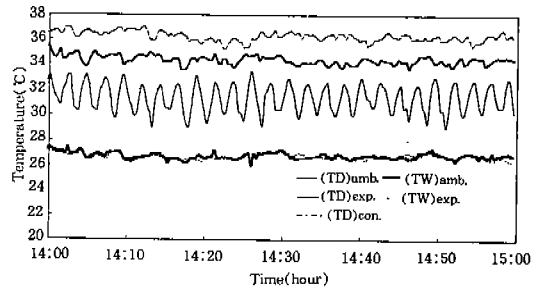


Fig. 11. Temperature drop pattern of fully ventilated and 60% shaded greenhouse with fog system operation of 1 minute on and 1.5 minute off

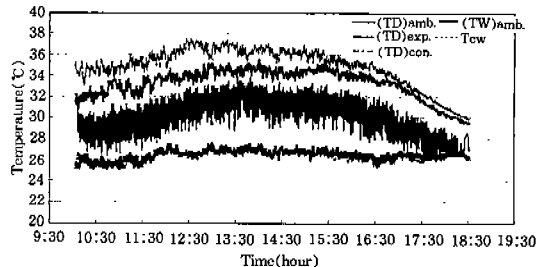


Fig. 12. Temperature drop pattern of fully ventilated and 60% shaded greenhouse with fog system operation of 1 minute on and 1.5 minute off

는 시점부터 다시 하강하는 경향을 보인다. 이때 실험구 온실의 평균온도는 27~31°C 사이에 분포하고 있으며, 분무시와 정지시의 온도 변화폭은 시간대에 따라 다소 차이는 있지만 Fig. 10과 마찬가지로 대략 4°C 정도이다. 또한 실험구 온실의 온도강하 효과는 시간대에 따라서 다소 차이는 있지만, 대비구 온실보다는 4~7°C 정도, 외기온 보다는 3~5°C 정도로 나타났다. 그리고 일사량이 적어 냉방부하가 작은 오전과 오후에는 실험온실의 온도가 거의 습구온도 가까이 까지 하강하지만, 일사량이 많아 냉방부하가 큰 한낮에는 실험구 온실의 건구온도가 습구온도보다 평균 5°C 정도 높음을 알 수 있다. 결국 일사량이 많은 시간대에서는 분무량이 충분치 못하다는 결론이며, 반대로 일사량이 적은 시간대에서는 온실내의 온도를 목표온도까지 하강시킬 수 있는 정도의 분무량이었다는 결론이다.

Table 5는 동일시간대에 대하여 분무조건에 따른 포그시스템의 냉방효과를 요약한 것으로 외기의 건구온도는 두 경우 공히 35°C이다. 실험구 온실의 온도는 분무량이 적은 1분 분무에 3분 정지인 경우가 32°C, 분무량이 많은 1분 분무에 1분 30초 정지하는 경우가 31°C로서 분무량이 많은 경우가 1°C 낮게 유지됨을 알 수 있다.

실험구 온실의 온도강하 효과는 외기온과 비교할 때 분무량이 적은 경우 3°C, 분무량이 많은 경우 4°C로서 분무량이 많은 경우가 1°C 더 크게 나타났다. 그러나 대비구 온실과의 비교에서는 분무량이 적은 경우가 10°C, 많은 경우가 6°C로서 분무량이 적은 경우가 4°C 크게 나타났다.

대비구 온실을 기준으로 한 온도강하 효과 비교에서 분무량이 적은 경우가 분무량이 많은 경우보

다 온도하강 폭이 큰 원인은 분무량이 적은 경우 대비구 온실의 온도가 40~44°C 사이로 매우 높은 반면, 분무량이 많은 경우는 대비구 온실의 온도가 30~35°C 사이로서 강하시킬 수 있는 온도 폭이 분무량이 적은 경우가 10°C 정도 더 컸기 때문이라 판단된다.

결론적으로 분무간격에 따른 포그의 냉방효과는 외기온과 비교하여 분무량이 많은 경우가 더 크게 나타났으나, 대비구 온실과의 비교에서는 온도 강하폭의 차이로 인하여 분무량이 적은 경우가 더 크게 나타났다. 또한 포그냉방의 효과는 외기조건인 일사량이나 풍속 등에 상당히 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 앞으로 외기조건을 고려하여 적정분무량을 결정하기 위한 체계적이고 실증적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4) 환기조건에 따른 포그시스템의 냉방효과

환기조건에 따른 포그시스템의 냉방효과를 분석하기 위하여 차광을 60% 실시하여 실험을 실시하였다. 환기조건은 첫째, 측창만 열었을 경우, 둘째, 천창만 열었을 경우, 셋째, 환기창을 완전히 열었을 경우로 나누어 분석하였다. 그러나 분석에 사용된 측정치들의 시간대가 일치하지 않고, 또한 외기조건도 고려되지 않았으므로 직접적인 비교는 어렵다.

Table 6은 환기조건에 따른 포그시스템의 냉각효과를 나타낸 것이다. 실험기간의 외기온을 살펴보면 30.0~34°C로서 환기조절별로 외기온이 일정하지 않았다. 습구온도는 23.0~26.5°C 정도의 변화를 보였다. 실험구 온실의 습구온도 분포를 살펴보면, 환기창을 모두 열어둔 경우를 제외하고는 모두 외기의 습구온도보다 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 원인은 환기량이 부족하여 온실

Table 5. Cooling effect of fog system according to spraying conditions

(Unit : °C)							
Fog spraying	(TD)amb.	(TW)amb.	(TD)exp.	(TW)exp.	(TD)con.	(TD)amb.-(TD)exp.	(TD)con.-(TD)exp.
1min on 3min off	35.0	25.0	32.0	25.0	42.0	3.0	10.0
1min on 1.5min off	35.0	27.0	31.0	27.0	37.0	4.0	6.0

Table 6. Cooling effect of fog system according to ventilation conditions

Ventilation	(TD)amb.	(TW)amb.	(TD)exp.	(TW)exp.	(TD)con.	(TD)amb.	(TD)con.
						-(Td)exp.	-(TD)exp.
Side vent only	30.0	23.0	29.0	25.0	36.0	1.0	7.0
Roof vent only	31.0	24.0	31.0	27.0	37.0	0.0	6.0
Side vent 1/3 open	32.0	24.0	32.0	25.0	37.0	0.0	5.0
Roof vent open							
All vent open	34.0	26.5	31.5	26.5	36.0	2.5	4.5

(Unit : °C)

내의 공기가 밖으로 원활히 배출되지 못하고 고온 다습화 되기 때문이다.

실험구 온실과 대비구 온실의 온도차를 살펴보면 측창 또는 천창만 열었을 경우는 약 6.0°C의 온도차이를 보이나 측창 및 천창 모두를 열었을 경우는 4.5°C 정도의 온도차를 보였다. 특히 천창 보다는 측창을 개방하는 것이 포그냉방효과가 높으며 측창의 일부나 천창만을 열었을 경우는 실험구 온실의 온도를 외기온 이하로 떨어뜨리기 어렵지만, 측창만 완전히 열었을 경우는 외기온보다 1.0°C 정도 낮게, 그리고 측창 및 천창을 모두 열었을 경우에는 외기온 보다 2.5°C 정도 낮게 유지할 수 있었다.

그러나 측창만 열어둔 경우에 대한 분석결과는 실험온실의 폭이 10.8m로 실용온실보다 좁기 때문에 외부의 풍속의 영향을 상당히 많이 받았다. 따라서 측창만 열어둔 상태로 포그냉방 실험을 한 경우에 온도강하 효과가 다소 크게 나타났을 것으로 판단된다.

이상의 결과로 볼 때 포그시스템을 이용한 온실 냉방법에 있어서 환기조건이 냉방효과 뿐만 아니라 온실의 습도환경에도 매우 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 따라서 포그시스템을 이용하여 온실냉방을 실시할 경우, 냉방효과면이나 온실의 습도환경측면에서 볼 때 충분한 환기가 필수적으로 동반되어야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 하절기 고온 하에서 작물의 생육

환경 및 작업환경 개선을 위하여 포그시스템으로 증발냉각 시험을 수행하였다. 제반 실험에 대한 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 노즐의 분무량은 펌프압력 90kgf/cm²까지 계속 증가하지만, 분무량의 증가율은 70kgf/cm² 이상에서는 현저히 감소하는 경향을 보였다. 그리고 실험에 사용된 분무압 70kgf/cm²에서 노즐 한 개당 분무량은 약 124ml/min였다.

2. 포그노즐의 입자분석 결과, 분무압 70kgf/cm²에서 평균입자(SMD평균)가 22.6µm, 최대입경 45.68µm, 최소입경 1.73µm로 매우 양호하게 나타났다.

3. 차광에 따른 포그시스템의 냉방효과 분석 결과, 실험구 온실의 온도가 무차광하에서는 외기온보다 1°C 높는데 비하여 60% 차광하에서는 외기온보다 2°C 낮게 유지할 수 있었다.

4. 분무간격 차이에 따른 포그시스템의 냉방효과 분석 결과, 외기조건과 시간대에 따라 다소 차이는 있지만, 실험구 온실의 온도가 분무량이 상대적으로 적은 1분 분무에 3분 정지하는 분무간격의 경우에는 외기온보다 3°C 정도 낮게 유지되었으나, 분무량이 많은 1분 분무에 1분 30초 정지하는 경우에는 외기온보다 4°C 정도 낮게 유지되었다.

5. 환기조건에 따른 포그의 냉방효과 분석 결과, 실험구 온실의 온도가 환기가 충분했던 경우에는 냉방부하량이 상대적으로 컸지만 외기온보다 2.5°C 정도 낮게 유지되나, 환기가 충분하지 못한 경우에는 외기온 이하로 유지하기 조차도 어려웠다.

6. 본 연구에서 수행한 Fog냉방 실험기간 동안 온실내의 온도강하는 실험조건과 기상여건에 따라 상당한 차이를 보였으나, 실험구 온실이 대비구 온실에 비해 대략 3°C~14°C 정도 낮게 유지되었다. 특히 환기가 충분하지 못했던 몇 가지 경우를 제외하고는 대부분 외기온 이하로 온도를 유지할 수 있었다.

본 연구는 농림부에서 시행한 농림수산 특
정연구사업인 “고효율 환경조절 및 에너지 절
약형 온실구조의 최적설계”의 연구비 지원에
의해 수행된 연구결과와 일부임

참 고 문 헌

1. 우영희, 남윤일, 송천호, 김형준, 김동억(1994), 夏節期 效率的인 하우스 溫度 濕度 管理에 관한 研究, 생물생산시설환경학회지, 3(1), pp. 58~65.
2. 조일환, 우영희, 仁科弘重, 橋本 康(1994), 夏期주간의 국소냉방과 토마토 배꼽썩음병 발생에 관한 연구, 생물생산시설환경학회지, 3(1), pp. 36~41.
3. 김영중, 유영선, 윤진하, 오권영, 김승희(1997), 포그노즐을 이용한 온실냉방시스템 분석, 한국농업기계학회 1997년 동계학술대회논문집, Vol. 2(1), pp. 233~242.
4. 민영봉(1997), 시설자동화 장치와 관리 생력화 시스템, 경상대학교 농과대학부속 시설원예연구소, 교육자료집 8호, pp. 98~116.
5. 서원명, 윤용철, 박중춘, 손영결(1994), 우리나라 온실의 냉방시스템 도입 검증, 경상대학교 시설원예연구, Vol. 2, pp. 123~145.
6. 三原義秋, 古牧弘(1973), 溫室の 細務冷房法の 實施例について, 農業氣象, 第28(4), pp. 19~24.
7. 三原義秋(1983), 溫室設計の基礎と實際, 養賢堂.
8. 고관달(1990), 시설원예의 기계화 및 생력재배, 최신농업기술Ⅱ 원예작물편, 경상대학교 농업자원이용연구소, pp. 7-27~7-34.
9. H. J. Barre(1987), Environmental and Functional Engineering of Agricultural Buildings, AVI.
10. 日本農業氣象學會(1977), 農業氣象 特別, 日本農業氣象學會.
11. 김명규, 1994, 무인상온연무기 개발에 관한 연구, 경상대학교 박사학위논문.
12. 農林水産技術會議事務局(1980), 高能率園藝施設計劃設計基準に關する 研究成果, 農林水産技術會議事務局, pp. 525.
13. 羽倉弘人(1977), ハウスの設計と安全基準の考え方, 農業および園藝, 52(1), pp. 165~171.
14. Cook, N. J.(1985), The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 1, Butterworths, pp. 6~45, 138~201.
15. Mathews, E. H. and J. P. Meyer(1988), Computation of Wind Loads on a Semicircular Greenhouse, Advances in Wind Engineering, Part 2, pp. 225~233.
16. 서원명, 민영봉, 박중춘, 온실의 냉방관리를 위한 기화냉각 시스템개발, 경상대학교 시설원예연구, Vol.1, pp. 173~178.