

터보팬 2류체노즐에 의한 분무입자의 증발현상*

Evaporation Phenomena of droplets sprayed by two fluid nozzle with turbo fan

민영봉**	김명규***	김도완**
정회원	정회원	정회원
Y.B.Min	M.K.Kim	D.W.Kim

1. 서 론

고온기 온실의 실내온도 상승에 의한 작물생육장애를 방지하기 위한 냉방방법으로 증발냉각 방식을 많이 도입하고 있다. 온실내에 미립자를 분무하기 위하여 일반적으로 사용되는 고압노즐은 노즐부 막힘현상이 발생하는 문제가 있다. 물의 분무에 의한 초미립화는 2류체노즐이 가장 적합한 것으로 알려져 있는데 지금까지 개발된 2류체노즐은 공기 압축기를 이용하기 때문에 액공과 기공의 크기가 작아 노즐막힘의 문제를 일으킬 수 있으며, 노즐 1개당 분무량이 적어서 온실의 냉방장치로 이용시는 대용량의 공기 압축기가 설치되어야 하기 때문에 비경제적이다.

노즐의 막힘현상이 없고, 물 분사량을 많이 하기 위하여 터보팬에 의한 저압 다량의 공기를 분출시키는 2류체 노즐을 개발하였다. 이 노즐을 온실에 설치시 냉방효과를 예상하기 위해서는 노즐로부터 분무되는 물 입자의 증발특성을 조사할 필요가 있다.

일반적으로 여름철 외기온과 2~3℃차를 유지하기 위하여 Fog분무량은 환기율 40일 때 4.545ml/min · m²으로 분무되어야하는 것으로 보고되고 있으나, 분무시 노즐로부터의 거리에 따른 증발현상을 구명한 연구가 없었고, 온실내 분무시 지면에 낙하하지 않고 완전증발이 가능한 최적 분무입경에 대한 연구 결과도 거의 없는 실정이다.

본 연구는 터보팬을 이용한 고용량 2류체 노즐의 미립자 분무시 노즐로부터 거리에 따른 입경변화와 증발량을 측정분석하고 온실의 증발냉각용으로 사용가능성을 판단할 목적으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1) 공시노즐

물을 미립자로 만들기 위해 사용한 터보팬 2류체노즐의 액공의 지름은 2mm이며 기공의 지름은 6mm이고 액공과 기공의 면적은 각각 3.14 와 21.20mm²이다. Turbo Fan으로 연속적인

* 본 연구는 '98년도 한국학술진흥재단의 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

** 경상대학교 농업기계공학과

*** 진주산업대학교 기계공학과

공기 가압시 노즐내의 공기압은 0.3kg/cm²이다. 터보팬 2류체노즐의 구조는 Fig. 1과 같으며 터보팬 2류체노즐에 사용한 터보팬의 제원은 Table 1과 같다.

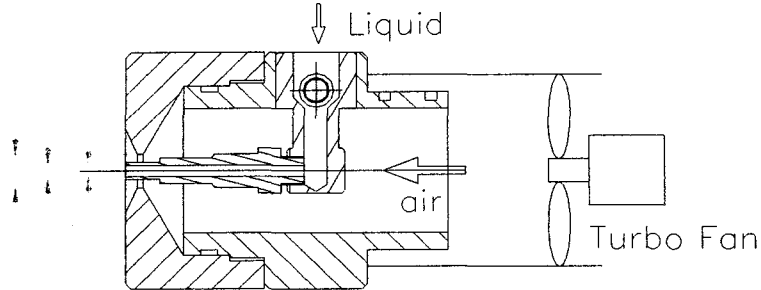


Fig.1. Details of two-fluid nozzle.

Table 1. Specifications of turbo fan used of two-fluid nozzle

Input (w)	965	Air Flow (m ³ /min)	2.43
Speed (rpm)	18397	Air (w)	224.0
Vacuum (mh)	55.2	Efficiency(%)	23.3

2) 송풍기

2류체노즐에서 나온 미립자는 입경이 작아 자체의 운동에너지에 의해 원거리 이동이 불가능하다. 따라서, 송풍기 바람으로 미립자를 은실내부에 부유시키기 위하여 Table 2에서와 같은 송풍기를 사용하였다.

Table 2. Specifications of the ventilator for blowing the droplets sprayed by two-fluid nozzle

Model	Phase ∅	Frequency Hz	Voltage V	Out put W	No. of polar P	Airflow m ³ /min
DTV-300	1	60	220	400	2	61

3) 실험장치

터보팬용 2류체노즐에 의해 생성된 미립자의 크기와 분포를 측정, 분석하기 위해 입자분석 전용기기인 PMAS(Particle Motion Analysis System)를 이용하였다. PMAS는 입자의 이동궤적과 속도 측정 및 입자의 분포도측정의 두 가지 기능과 거시적 촬영 기능을 가지고 있으며, 이 입자분석기는 아주 작은 크기의 입자에서부터 큰 입자의 크기를 화상으로 저장한 뒤 입자분포도분석 소프트웨어로서 실제크기를 분석, 해석이 가능하며, 광원의 발광 시간이 짧아 이중 광원을 이용하여 순간적인 입자의 이동을 화상으로 저장한다. 촬영을 위한 광

지속시간은 50ns이며 반복은 1μs로 고속촬영이 가능하다. 실험장치는 2류체노즐의 수평분무를 위한 고정대를 설치하고 노즐팁으로부터 40cm 지점에 첫 번째 측정단면을, 40cm이후 각 20cm마다 측정단면을 정하고 PMAS의 입자촬영 초점을 맞추도록 하였다. 노즐의 분무량 조절을 위하여 물공급 탱크의 수위를 조절할 수 있는 물탱크 설치대를 부가하였다.

나. 실험방법

터보팬용 2류체노즐의 분무량은 물탱크 대신에 메스실린더를 이용하여 5회 측정하여 그 평균값을 취하였고, 분무입경의 측정은 노즐로부터 나온 미립자가 충분히 성장을 하였다고 판단되는 노즐로부터의 거리 40cm부터 20cm씩 거리를 두면서 측정을 하였다. 미립자의 증발은 상대습도와 온도에 의해 많은 영향을 받으므로 실험시 상대습도는 70~72%, 온도는 28~31℃ 에서 실험을 하였다. 생성된 입자가 자력으로 날아가는 거리는 미약하므로 송풍시와 무송풍시 두가지 조건에서 실험을 하였으며, 각 측정 단면의 분무입경은 단면의 중심부와 가장자리 사이의 4곳을 측정하여 그 평균으로 하였다.

PMAS의 자동평균입경계산 방법은 측정된 전미립자체적을 합하여 입자수로 나누어 평균체적을 구하고 그 평균체적으로 다시 평균입경을 구하게 되며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{평균체적} = \frac{\text{모든 입자의 체적}}{\text{입자수}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{평균입경} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \times \text{평균체적}} \dots\dots\dots (2)$$

3. 결과 및 고찰

가. 노즐의 분무량에 따른 입경변화

Table 3과 Table 4는 노즐의 분무량에 따른 입경변화를 나타낸 것으로 공기량이 일정할 때 액량이 증가할수록 평균입경은 커지는 경향을 보였다. 이는 김⁽¹⁾보고와 같이 액량과 공기량의 비가 입경을 변화시키는 요인으로 생각된다. 노즐로부터의 거리가 멀수록 평균입경은 증가하였는데 분무된 입경이 비산시 계속되는 증발현상 때문에 미소입경은 입자측정기에 계측이 되지 않기 때문으로 판단된다.

액량이 195ml/min일 때 노즐로부터 40cm 측정지점에서 최소 평균입경은 29μm이었다. 일반적으로 온실냉방을 위한 분무립의 크기는 작을수록 효과적이기 때문에 분무립의 비산시 증발현상을 조사하기 위한 분무시험은 액량이 195ml/min일때로 하였다.

나. 분무거리에 따른 분무입경분포

Fig. 2와 Fig. 3은 송풍기가 가동되지 않을 때와 가동될 때의 측정위치별 분무입자의 분포를 나타낸 것이다. 노즐로부터 물이 분사될 때 분무입자의 생성은 노즐로부터 40cm까지

이루어지며 이 과정에서는 증발현상이 거의 없는 것으로 판단된다. 40cm이후 분무입자의 증발현상이 가속되어 2m이상 비산시 무송풍 시에는 76.72%, 송풍 시에는 83.85%가 증발하는 것으로 나타났다. 분무입경이 큰 것은 증발하는데 시간이 걸리므로 송풍에 의하여 공기 중 비산시간을 늘리고 증발속도를 높이면 증발효과를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3. Variations of droplet size according to the spraying rate of water(q) and the distance from nozzle(d) when ventilator is on (단위: μm)

d \ q	195	202	210	217	225	232
40	28.959	30.408	31.551	30.459	32.539	32.740
60	28.357	27.414	28.907	28.244	29.397	28.668
80	29.419	30.933	32.322	31.509	36.232	31.722
100	33.726	35.618	34.795	34.607	35.949	36.062
120	31.894	33.093	33.538	32.252	30.179	32.579
140	30.830	30.652	30.331	35.184	33.833	36.572
160	29.642	34.379	33.590	28.326	41.740	37.242
180	35.126	39.297	43.302	35.382	37.477	39.485
200	52.646	36.441	40.298	47.222	29.167	42.978

Table 4. Variations of droplet size according to the spraying rate of water(q) and the distance from nozzle(d) when ventilator is off (단위: μm)

d \ q	195	202	210	217	225	232
40	28.627	31.062	32.401	34.840	38.290	31.364
60	27.630	26.549	20.324	24.606	30.106	32.295
80	32.909	33.777	32.439	34.562	31.553	28.325
100	38.151	31.913	33.805	32.601	37.022	41.238
120	31.196	35.822	35.510	33.899	41.837	34.091
140	32.397	48.376	40.164	36.300	37.350	38.239
160	40.568	41.146	38.887	26.868	40.134	50.645
180	34.050	36.336	50.253	51.554	39.271	47.729
200	45.666	49.230	54.696	59.210	47.782	52.179

다. 분무거리별 증발량

Fig. 2와 Fig. 3에서 각 분무거리별 측정입자의 전체 체적을 계산하고 분무거리에 따른 적산 증발량을 구해본 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 송풍, 무송풍 모두 분무초기에 증발량이 많고 거리가 멀수록 증발량이 줄어드는 것으로 나타났다. 송풍시가 무송풍시보다 증발현상이 빠르며 증발량도 증가하는 것으로 나타났다.

라. 증발에 의한 분무입경 변화

Fig. 4와 Fig. 5로부터 각 분무거리별 측정입자의 전체체적에서 분무거리 40cm지점의 측

정입자 전체체적을 뺀 값을 각 거리별 증발량으로 계산하고, 40cm지점에 대한 분무거리별 입경의 체적 감소도 동일한 비율로 일어난다고 가정하여 노즐로부터 초기 분무입경의 비산 거리별 입경변화를 계산한 결과는 Fig. 6, 7과 같다. 초기 분무입경이 25~35 μm 는 노즐로부터의 거리 2m에서 무송풍시 7.7~21 μm 의 입경으로 존재하는 것으로 나타났으며, 송풍시에는 7.54~20.25 μm 로 나타났다. 5 μm 이하의 미립자는 공기의 유동에 따라 외부로 빠져나가는 것으로 가정하면 이 입경이하로 증발하는 작물에 떨어져 부착될 염려가 없다. 노즐로부터 미립자가 2m날아간 후 작물주위에 낙하하면서 증발하는 것을 고려하면 온실냉방에 적합한 미립자의 크기는 송풍시 30 μm 이하, 무송풍시 25 μm 이하가 적당할 것으로 판단된다.

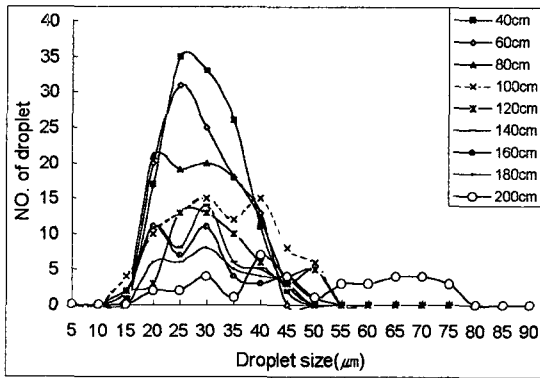


Fig.2. Distributions of sprayed droplet size according to the distance from nozzle when ventilator is off.

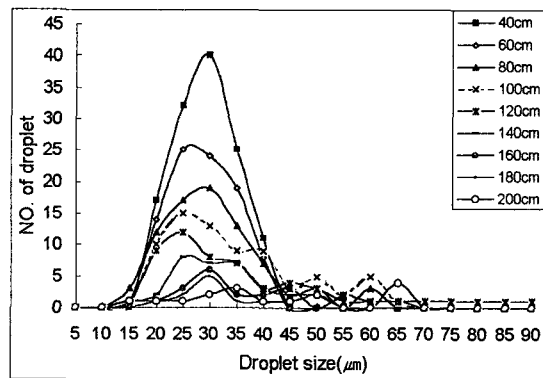


Fig.3. Distributions of sprayed droplet size according to the distance from nozzle when ventilator is on.

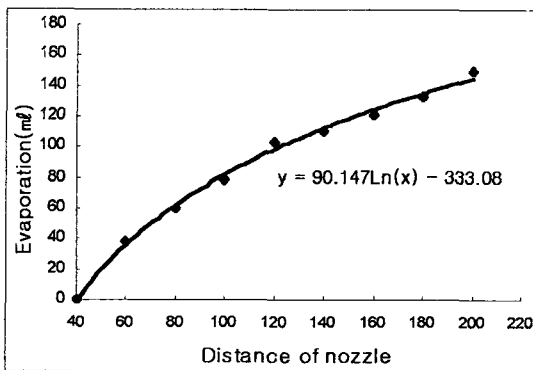


Fig.4. Accumulative evaporation according to the distance from nozzle when ventilator is off.

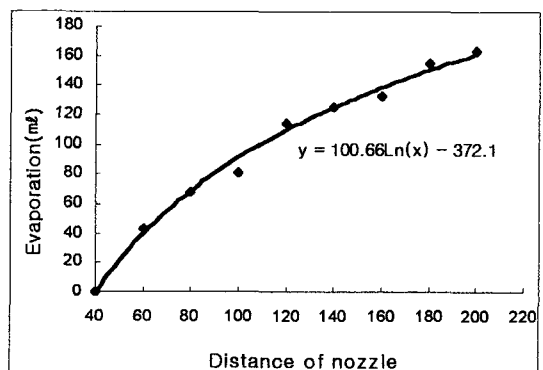


Fig.5. Accumulative evaporation according to the distance from nozzle when ventilator is on.

노즐로부터 분무시 미립화표시는 평균입경으로 나타내므로 분무립이 작물에 5%이하로 낙하되는 분무초기의 평균입경은 Fig. 2와 Fig. 3을 참고하면 송풍시 20 μm , 무송풍시 15 μm 이하여야하는 것으로 추측된다. 따라서 본실험에 사용된 노즐은 평균입경 29 μm 로서 온실 냉방용

으로 부적합하다.

이것은 터보팬에 의한 노즐내 공기압이 $0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 입계압 $0.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 때문이다. 공기량에 비해 액량의 비를 낮추면 $25\mu\text{m}$ 의 입경분무가 가능하며 온실의 증발냉각용으로 사용할 수 있을 것으로 추측된다.

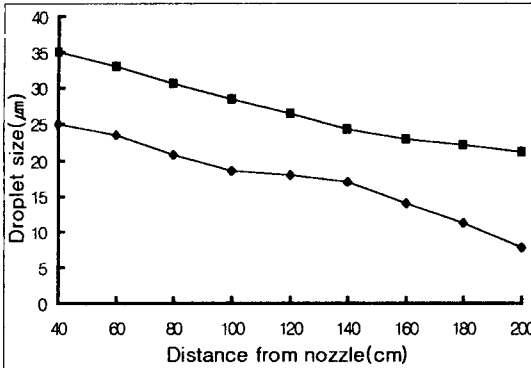


Fig.6. Variations of sprayed droplet size depending on evaporation when ventilator is off.

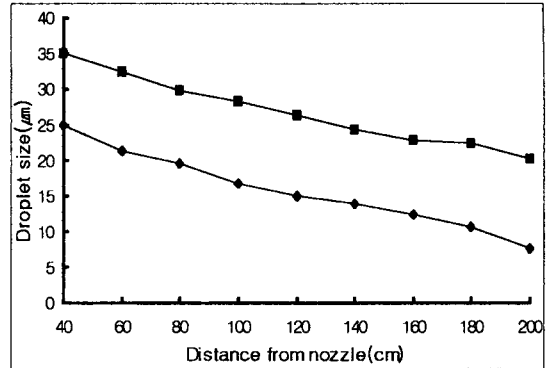


Fig.7. Variations of sprayed droplet size depending on evaporation when ventilator is on.

4. 요약 및 결론

터보팬 부착 다량분무 2류체노즐을 고안하고 온실 분무냉방장치로 이용가능성을 판단하기 위하여 물 분무시 노즐로부터 거리별로 분무입경을 이중광원 입경측정 장치(PMAS)로 측정하여, 분무입경의 변화와 증발량변화를 분석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1) 터보팬에 의한 압축 공기압이 $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 노즐의 분무량이 감소할수록, 즉 액량:공기량 비가 적을수록 분무입자는 미세화 되었고 액유량 $195\text{ml}/\text{min}$ 에서 평균입경이 노즐로부터 거리 40cm 에서 $28.959\mu\text{m}$ 로 나타났다.

2) 액유량 $195\text{ml}/\text{min}$ 일 때 노즐로부터의 거리가 멀수록 평균입경은 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 분무된 입경이 비산시 계속되는 증발현상 때문에 미소입경은 입경측정기에 계측이 되지 않기 때문으로 판단된다.

3) 분무거리 2m 내에서 무송풍시에는 83.86% , 송풍시에는 76.73% 의 증발율을 보였으며, 분무거리별 적산 증발량은 지수수렴함수의 경향으로 증가하였다.

4) 초기 분무입경이 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 로 수평 비산하여 그대로 작물에 낙하하는 분무이동을 한다고 가정할 때 5% 미만의 초기 평균분무입경은 송풍시 $20\mu\text{m}$ 이하, 무송풍시 $15\mu\text{m}$ 이하로 추정된다.

5) 고안된 터보팬부착 2류체노즐은 공기압 $0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 일 때 초기 분무입경이 $29\mu\text{m}$ 로 온실냉방용으로 부적합하지만 공기압을 높이고 액량비를 맞추면 작물의 과습피해가 없는 온실냉방용 분무장치로 활용가능 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김명규, 1994, 무인상온연무방제기 개발에 관한 기초연구
2. 남상운. 1998. 증발냉각시스템의 온실냉방 적용성 평가. 생물생산시설연구환경 제7권 제4호
3. 박중춘, 민영봉, 서원명, 정한택, 김진일. 1995. 온실의 고온 극복을 위한 몇가지 실험적 분석. 경상대 시설원예연구 107~121
4. 윤용철, 서원명, 이종열. 1998. 온실 냉방용 분무노즐의 분무 특성. 생물생산시설연구환경 제7권 제4호