

회전형 미세입자 분무장치의 입자 분포 특성에 관한 기초 연구

유영선* · 장재경 · 김형권 · 김영화 · 이태석 · 오성식 · 진병옥 · 오경민 · 강태경

국립농업과학원 농업공학부

A Basic Study on Particle Distribution Characteristics of Rotary Mist Spraying Device

Young Sun Ryou*, Jae Kyung Jang, Hyung Kweon Kim, Young Hwa Kim, Tae Suk Lee,
Sung Sik Oh, Byung Ok Jin, Gyoung Min Oh, and Tae Kyoung Kang

Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract. The purpose of this study is to analyze the distribution characteristics of mist spray particle size by devising a rotary mist spraying device to develop the evaporative salt water desalination system. The rotary mist spraying device was consisted of a BLDC sirocco fan, a spinning fan, a fan fixed shaft and a salt water supply device etc. In this study we analyzed the characteristics of spray particle size and distribution according to the variation of sirocco fan surface roughness(Ra, μm), revolutions(rpm) and salt water flow rate(mL/min). When sirocco fan surface roughness(Ra) was in the range of 0.27~7.65 μm , the spray particle size was 0.117~1.360 μm . And then more than 90% of spray particles were found to be less than 0.50 μm . When sirocco fan surface roughness(Ra) was in the range of 12.70~22.84 μm , the spray particle size was 2.51~184.79 μm and more than 98% of spray particles were found to be less than 13.59 μm . To analyze the effect of fan rotation speed on the size and distribution of spray particles, when surface roughness Ra was fixed 0.27 μm and fan rotation speed and salt water flow rate was respectively changed at 3,800~5,600 rpm and 2.77~8.28 mL/min, spray particle size was 0.341~0.541 μm . And when salt water flow rate was 9.74 mL/min and fan rotation speed was 3,800~5,200 rpm, spray particle size was in the range of 29.29~341.46 μm and in case of 5,600 rpm more than 98.23% of spray particles were in the range of 2.51~13.59 μm .

Additional key words : desalination, spraying, salt water, particle distribution

서 론

최근 우리나라는 기후변화로 인하여 가뭄이 지속되는 경우가 자주 발생하고 있어 농업용수 부족이 심각한 수준이며, 특히 간척지는 농업용수 확보가 어려워 현재는 주로 빗물을 저장하여 이용하고 있는 실정이다. 최근에는 새만금 등 대규모 간척지에 스마트 팜을 구축하려는 정책적 시도가 이루어지고 있으며, 간척지의 대규모 스마트 팜에서 안정적인 생산기반을 구축하기 위해서는 우선적으로 경제적이고 지속가능한 농업용수 확보 방안이 마련되어야 한다. 대부분의 간척지는 지하수 염도가 높아 농업용수로 부적합하기 때문에 우선 빗물을 저장하여 사용하고 부족한 농업용수는 지하염수 또는 해수를 담수화하여 충당하는 것이 바람직하다.

해수 또는 지하염수를 담수로 만드는 방법은 증발냉각법, 냉동법, 역삼투압법, 전기투석법 등이 있으며, 전 세계적으로 해수담수화 플랜트의 95%는 역삼투압법과 증발냉각법이 사용되고 있고 주로 식수로 사용하기 위한 대규모 플랜트이며, 농업용수만으로 사용하기 위한 해수 또는 염수담수화 플랜트는 연구되거나 구축된 바가 거의 없다.

현재 해수 또는 염수담수화 방법은 역삼투압법(reverse osmosis)이 가장 경제적인 것으로 알려져 있으며, 담수 1톤을 생산하는 데 소요되는 비용은 약 \$1.0 정도이다. 따라서 새롭게 건설되고 있는 염수담수화 플랜트는 대부분 역삼투압법을 채용하고 있으나 이 방법은 농축수 배출과 관련된 심각한 문제를 가지고 있다. 일반적으로 해수의 염농도는 약 35,000 ppm이며, 역삼투압법을 이용하여 담수를 생산하게 되면 투입된 해수의 40% 정도가 담수로 토출되고, 나머지 60%는 약 70,000 ppm의 농축수가 발생하게 된다. 이와 같은 농축수는 바다로 다시 배출하는 것이 일반적인 방법이나 배출량이 많게 되면

*Corresponding author: ysryou@korea.kr

Received September 10, 2019; Revised October 27, 2019;

Accepted October 30, 2019

해수담수화 플랜트 인근 해역의 염농도가 높아질 가능성이 있고, 염농도가 높아지면 해양생태계에 영향을 미칠 수 있기 때문에 대규모 해수담수화 플랜트에서는 이를 고려한 농축수 배출방안이 마련되어야 한다.

간척지에서 염지하수를 담수화하여 농업용수를 확보하고자 한다면 역삼투압법에서 발생하는 농축수 처리가 대단히 큰 문제로 대두된다고 할 수 있다. 농축수를 방조제까지 운반하여 바다에 버리기에 지나치게 많은 비용이 발생하여 경제성을 확보하기 어렵기 때문이다. 따라서 염지하수를 담수화하여 사용하기 위해서는 효율적인 농축수 처리 방안이 마련되어야 한다.

따라서 최근 들어서 염지하수의 담수화 방법을 2단계로 구분하여 처리하는 방안이 연구되고 있다. 즉, 1차적으로는 역삼투압법(Brett, 2008; Lee, 2011)으로 담수를 생산하고, 역삼투압법에서 발생하는 농축수는 2차적으로 저온 증발냉각법으로 처리하여 보다 더 경제적으로 담수를 생산하는 방법이다(Brandon, 2008; Song, 2014).

저온 증발냉각법은 주로 여름철 온실의 냉방을 위해서 사용하는 경우가 많으며, 특히 팬엔패드(Nam, 1998; Nam, 2011), 포그시스템(Yoon, 1998; Kim, 1999) 등이 온실 증발냉각장치로 도입되어 많은 실증 연구와 저온 증발 특성 및 냉각효과에 관한 분석(Kim, 2010)이 이루어지고 있다.

농축수를 저온 증발법으로 처리하여 담수를 생산하기 위해서는 우선 농축수가 저온에서 쉽게 증발할 수 있도록 농축수를 미세입자 형태로 분무하여야 하는데 농축수는 다량의 염분을 비롯한 강한 부식성 물질과 미네랄 등을 포함하고 있기 때문에 일반적인 노즐을 이용한 분무방법은 부식이나 노즐 막힘 등이 빈번하게 발생하여 적합하지 않은 것으로 알려져 있다.

따라서 이 연구에서는 내부식성 소재로 제작된 시로코 팬 형태의 고속 회전체에 농축수를 공급하면서 마찰과 충격을 이용하여 미세입자로 만들어 분사하는 새로운 형태의 분무장치를 고안하였으며, 이와 같은 회전형 미세입자 분무장치에 있어서 염수 공급량, 팬 회전수 그리고 회전체 표면조도에 따른 분무입자 크기의 변화를 실험적으로 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

회전형 미세입자 분무장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 고안하였으며, 고속 회전이 가능한 시로코팬 위에 고정축을 설치하고, 고정축과 시로코팬 사이에는 공급되는 염수를 확산시킬 수 있는 회전팬을 부착하였으며, 고정축 위에 위치한 염수공급장치는 염수를 고르게 공급하기 위하여 깔때기 모양으로 설계하였다.

이와 같이 설계된 회전형 미세입자 분무장치의 미립화 원리는 상부에서 공급된 염수가 깔때기 모양의 염수공급장치에서 1차적으로 확산되어 원주방향으로 고르게 퍼져서 공급된다. 그 다음에는 공급된 염수가 회전팬에 부딪치면서 더 작은 입자로 만들어지고, 이와 같이 생성된 작은 입자는 시로코팬의 바닥면과 원주방향에 설치된 다수의 시로코팬 날개에 부딪치면서 더 미세한 입자가 되어 좌측의 토출구로 다량의 공기와 함께 분사가 이루어진다.

Fig. 1과 같이 제작된 회전형 미세입자 분무장치의 분무특성을 구명하기 위하여 팬 회전수, 염수공급량 그리고 시로코 팬 바닥면의 표면조도를 변화시켜가며 분무입자의 크기에 따른 분포 특성을 분석하고자 Table 1에서 보는 바와 같이 실험계획을 마련하였다. 각각의 조건에 대한 실험범위는 기초실험을 통하여 최소 및 최대치를 결정하였으며, 팬 회전수는 팬 속도조절기(Table 5)를 이용하여 3,800~5,600rpm의 범위에서 5단계로 회전수를 증가시켜가며 분무입자의 변화 특성을 분석하였다.

Fig. 1의 하부에 설치된 시로코 팬은 BLDC(Brushless Direct Current) type 이며, Table 2에서 보는 바와 같이 전압이 8~12 V 까지 5 단계로 변화하는 동안 팬의 회전수는 3,800~5,600rpm 까지 직선적으로 증가하였다.

염수공급량은 정량펌프(Table 3)를 이용하여 조절하였고, 2.77~19.70mL/min의 범위에서 8 단계로 공급량을 증가시켜가며 분무입자의 변화 특성을 분석하였으며, 시로코 팬의 표면조도는 Table 1에서 보는 바와 같이 3.78~22.84 μ m의 범위에서 8 단계로 표면 거칠기를 변화

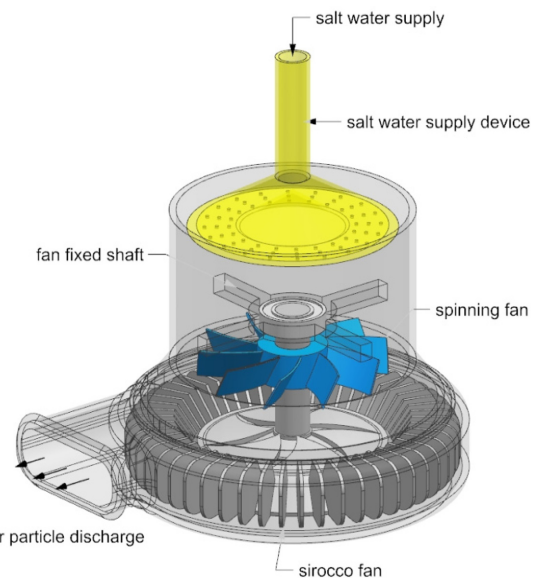


Fig. 1. Rotary mist spraying device.

Table 1. Experimental plan to find out mist spraying characteristics of rotary mist spraying device.

Item	Experiment range	Remarks
Fan speed(rpm)	3,800~5,600*	5 steps
Salt water supply rate(mL/min)	2.77~19.70**	8 steps
Surface roughness[Ra(μm)] of sirocco fan	0.27~22.84***	8 steps

* 3800, 4300, 4800, 5200, 5600rpm

** 2.77, 5.48, 8.28, 9.74, 11.20, 14.07, 16.77, 19.70mL/min

*** 0.27, 3.78, 4.34, 4.62, 5.38, 6.34, 7.65, 12.71, 22.84μm

Table 2. Variation of rotational speed according to voltage in BLDC sirocco fan.

Item	1 st step	2 nd step	3 rd step	4 th step	5 th step
Voltage	8	9	10	11	12
Revolution (rpm)	3,800	4,300	4,800	5,200	5,600

시커가며 마찰 저항에 따른 분무입자 분포를 분석하였다. 이와 같이 팬 회전수, 염수공급량 그리고 시로cco 팬 바 닥면 표면조도의 변화에 따른 분무입자의 분포특성을 구 명하기 위하여 분무입자 측정 장치, 정량펌프, 표면조도계 그리고 팬 회전수 조절기 등을 사용하였으며, 자세한 사양 은 Table 4, Table 5, Table 6 에서 보는 바와 같다.

Table 3. Specification of metering pump.

Items	Specification	Remarks
Model	520S (Watson Malow, UK)	
Operating method	Peristaltics	
Speed (rpm)	0.1~220	5~70
Flow rate (mL/min)	0.004~3,300	1.38~19.70

Table 4. Specification of mist particle measuring apparatus.

Items	Specification	Remarks
Model	Malvern SPRAYTEC (Malvern Instrument, UK)	
Measurement principle	Laser diffraction	
Size range	0.1~2,000μm	
Maximum acquisition rate	Continuous mode : 1 Hz	
Accuracy	Better than ± 1%	
Operation temperature	15~40°C	
Operation humidity	35%~80%	RH

Table 5. Specification of surface roughness(Ra) measuring apparatus.

Items	Specification	Remarks
Model	SJ-210(Mitutoyo, Japan)	
Measuring range	-200~+160μm	360μm
Resolution	0.0256μm	
Stylus material	Diamond	
Tip radius	5μm	
Measuring force	4 mN	
Radius of skid curvature	40 mm	
Operation temperature	5~40°C	
Operation humidity	85% or below	RH

Table 6. Specification of BLDC sirocco fan speed controller.

Items	Specification	Remarks
Model	DC Power Supply PS-305DM(China)	
Input power	110/220 V	
Output voltage	0~30 V (adjustable)	0.1 V
Output current	0~5 A (adjustable)	0.1 A
Display accuracy	± 1%	

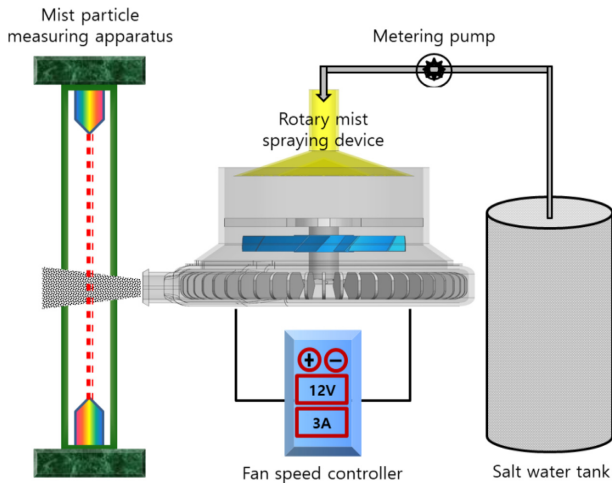


Fig. 2. Experimental device to analyze the size and distribution of particles discharged from rotary mist spraying device.

이상과 같은 계측장치를 이용하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 분무입자 측정 실험장치를 구성하였으며, 회전형 초미세입자 분무장치의 분무 특성을 분석하기 위하여 국립농업과학원 농업공학부 분무입자측정실험실에서 2019년 6월 4일에서 7월 9일까지 실험을 수행하였고, 분무입자 측정실험이 수행되는 동안 주위공기온도는 23~25°C, 상대습도는 50~53% 였다.

염수를 분무하여 증발냉각법으로 담수를 생산할 때 가장 중요한 요인은 에너지 비용을 줄여 경제성을 높이는 것이다. 에너지 비용을 줄이기 위해서는 분무입자의 크기를 작게 만들어 저온에서 증발시킬 수 있는 기술을 도입해야 하는 데 임의의 온습도 조건에서 미세분무입자가 자연적으로 증발하는 데 걸리는 시간(E_{LT} , sec)은 다음의 식(Amsden, 1962; Matthews, 1992)으로 계산할 수 있다.

$$E_{LT} = S_p^2 / (80 \times \Delta T) \quad (1)$$

여기에서, $S_p(\mu m)$: 분무입자 크기(μm)
 $\Delta T(^{\circ}C)$: 건습구온도차(건구온도 T_{DB} - 습구온도 T_{WB})

또한, 임의의 온습도 조건에서 미세분무입자가 자연적으로 낙하할 수 있는 거리(F_D , cm)는 다음의 식(2)로 계산한다(Matthews G. A., 1992).

$$F_D = 1.5 \times 10^{-3} \times S_p^4 / (80 \times \Delta T) \quad (2)$$

위의 식 (1), 식 (2)를 살펴보면 분무입자의 크기가 작고 건습구온도차가 클수록 자연적으로 증발하는 시간이 짧아지고 또한 자유낙하거리도 짧아진다는 것을 알 수 있다.

결과 및 고찰

상대습도를 50%로 고정하고 건구온도를 15~40°C 까지 변화시켜 가며 분무입자의 크기(10, 20, 30 μm)에 따른 자연증발시간과 자유낙하거리를 식 (1)와 (2)로 계산하여 Table 7과 같이 정리하였다. 건구온도 15°C에서는 분무입자 크기가 10~30 μm 로 변화함에 따라 자연증발시간은 0.235~2.11sec, 자유낙하거리는 0.035~2.829cm 까지 변화하였다. 건구온도가 높아짐에 따라 자연증발시간과 자유낙하거리는 동시에 줄어드는 경향을 보였으며, 분무입자 크기가 10 μm 인 경우 자연증발시간과 자유낙하거리는 각각 0.235~0.129sec, 0.035~0.019cm 까지 감소하였다. 분무입자 크기 20 μm 에서 자연증발시간과 자유낙하거리는 각각 0.938~0.516sec, 0.563~0.310cm 까지 감소하였으며, 분무입자 크기가 30 μm 인 경우의 자연증발시간과 자유낙하거리는 각각 2.111~1.161sec, 2.849~1.567cm 까지 감소하였다. 이와 같은 결과로 보아 분무입자 크기가 30 μm 이상인 경우에는 자연증발시간이 1.0sec 이상으로 길어져서 증발이 원활하게 일어나지 않을 것으로 판단되며, 자연증발시간을 1.0sec 이하로 유지하기 위해서는 분무입자 크기를 20 μm 이하로 제한해야 함을 알 수 있었다.

회전형 미세입자 분무장치의 입자 크기와 분포에 영향을 미치는 요인은 크게 3 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 회전체의 표면조도이고, 둘째는 회전수 그리고 셋째는 염수 공급량이다. 이 연구에서는 먼저 회전체 제작에 필요한 표면조도를 결정하기 위하여 표면조도의 변화가 분무입자의 크기와 분포에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 7. Variation of extinction lifetime and falling distance of sprayed droplet when spray particle size is fixed at 10, 20, 30 μ m and relative humidity is 50%.

$S_p(\mu\text{m})$	$T_{DB}(^{\circ}\text{C})$	RH(%)	$T_{WB}(^{\circ}\text{C})$	$E_{LT}(\text{sec})$	$F_D(\text{cm})$
10	15	50	9.67	0.235	0.035
20	15	50	9.67	0.938	0.563
30	15	50	9.67	2.111	2.849
10	20	50	13.78	0.201	0.030
20	20	50	13.78	0.804	0.482
30	20	50	13.78	1.809	2.442
10	25	50	17.81	0.174	0.026
20	25	50	17.81	0.695	0.417
30	25	50	17.81	1.565	2.122
10	30	50	22.00	0.156	0.023
20	30	50	22.00	0.625	0.375
30	30	50	22.00	1.406	1.898
10	35	50	26.14	0.141	0.021
20	35	50	26.14	0.564	0.339
30	35	50	26.14	1.270	1.714
10	40	50	30.31	0.129	0.019
20	40	50	30.31	0.516	0.310
30	40	50	30.31	1.161	1.567

$S_p(\mu\text{m})$: Spray particle size, $T_{DB}(^{\circ}\text{C})$: Dry bulb temperature, RH(%) : Relative humidity
 $T_{WB}(^{\circ}\text{C})$: Wet bulb temperature, $E_{LT}(\text{sec})$: Extinction lifetime, $F_D(\text{cm})$: Falling distance

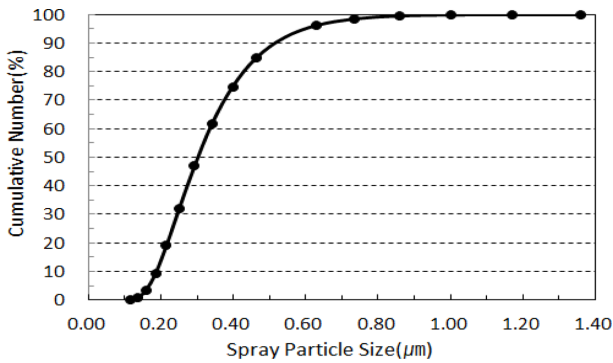


Fig. 3. Cumulative number(%) according to spray particle size in the range of $Ra = 0.27\sim 7.65\mu\text{m}$ when BLDC sirocco fan revolution is 5,600 rpm and salt water supply rate is 19.70mL/min.

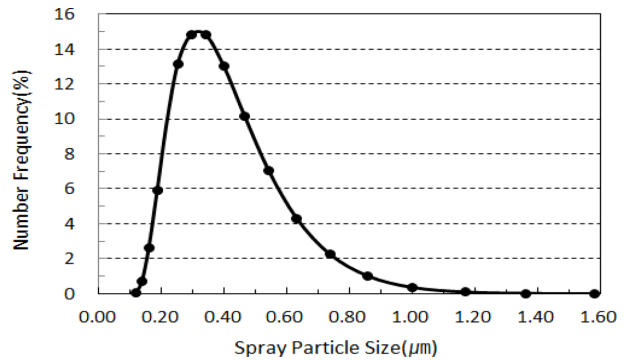


Fig. 4. Number frequency(%) according to spray particle size in the range of $Ra = 0.27\sim 7.65\mu\text{m}$ when BLDC sirocco fan revolution is 5,600rpm and salt water supply rate is 19.70mL/min.

즉, BLDC 시로코 팬의 회전수와 염수 공급량을 각각 최대값(5,600rpm, 19.70mL/min)으로 고정하고, 회전체의 표면조도(Ra)를 0.27, 3.78, 4.34, 5.38, 6.34, 7.65, 12.71, 22.84 로 변화시켜 가며 분무입자의 크기와 분포 특성을 분석한 결과 $Ra = 0.27\sim 7.65\mu\text{m}$ 인 경우에는 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 분무입자 크기가 0.117~1.360 μm

의 범위에 분포하였고, 분무입자의 90% 가 0.50 μm 이 하인 것으로 분석되었으며, 표면조도의 변화가 분무입자 크기에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

또한, Fig. 4에서 보는 바와 같이 입자크기 0.30 μm 까지는 분포율이 급격하게 증가하여 15% 로 최대값을 보였으며, 그 이후에는 입자크기 0.70 μm 까지는 분포율이

급격하게 감소하다가 입자크기 0.80 μm 이상에서는 원만하게 감소하는 경향을 보였다.

마찬가지로 BLDC 시로코 팬의 회전수와 염수 공급량을 각각 최대값(5,600rpm, 19.70mL/min)으로 고정하고, 표면조도 $R_a = 12.70\sim 22.84\mu\text{m}$ 인 경우에는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 분무입자크기가 2.51~184.79 μm 의 범위에 분포하였고, 분무입자의 98%가 13.59 μm 이하인 것

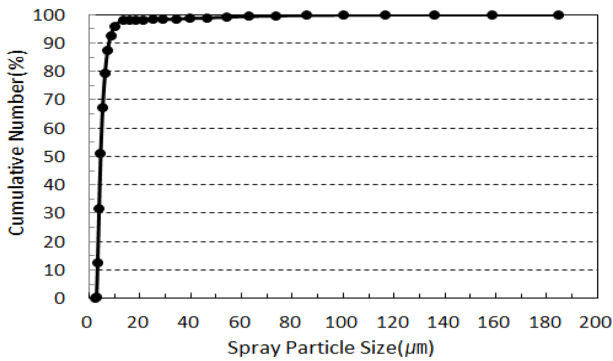


Fig. 5. Cumulative number(%) according to spray particle size in the range of $R_a = 12.70\sim 22.84\mu\text{m}$ when BLDC sirocco fan revolution is 5,600rpm and salt water supply rate is 19.70mL/min.

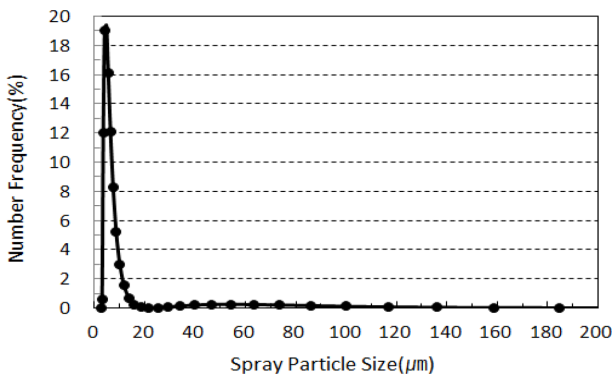


Fig. 6. Number frequency(%) according to spray particle size in the range of $R_a = 12.70\sim 22.84\mu\text{m}$ when revolution of BLDC sirocco fan is 5,600rpm and salt water supply rate is 19.70mL/min.

으로 분석되었으며, 표면조도의 변화가 분무입자 크기에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

또한, Fig. 6에서 보는 바와 같이 입자크기 5.0 μm 까지는 분포율이 급격하게 증가하여 19%로 최댓값을 보였으며, 입자크기 12.0 μm 까지는 분포율이 급격하게 감소하다가 입자크기 13.0 μm 이상에서는 원만하게 감소하는 경향을 보였다.

이와 같은 결과로 보아 회전형 미세입자 분무장치는 회전체의 표면 조도가 낮을수록, 즉 표면이 매끄러울수록 분무입자의 크기가 감소한다는 것을 알 수 있으며, 상대습도가 50%인 경우를 가정하여 식 (1)로 계산하면 분무된 입자는 0.321sec 안에 증발이 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

다음으로는 BLDC 시로코 팬의 회전수가 분무입자의 크기와 분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표면조도 $R_a = 0.27\mu\text{m}$ 로 고정한 상태에서 염수 공급량을 일정하게 유지하면서 팬의 회전수를 3,800~5,600rpm로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 실험결과 염수 공급량이 2.77~8.28mL/min인 경우에는 Table 8에서 보는 바와 같이 분무입자의 크기가 0.341~0.541 μm 의 범위에 분포하였으며, 회전수의 변화가 분무입자의 크기에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

염수 공급량을 증가시켜가며 회전수에 따른 분무입자 크기 변화를 분석한 결과 염수공급량이 9.74mL/min이고 회전수가 3,800~5,200rpm인 경우에 분무입자의 크기는 29.29~341.46 μm 의 범위에 분포하였으며, 5,600rpm에서는 분무입자의 98.23% 이상이 2.51~13.59 μm 의 범위에 분포하였다. 염수 공급량을 11.20~19.370mL/min까지 증가시켜가며 분무입자의 분포를 분석한 결과 5,200rpm 이하에서는 분무입자의 크기가 모두 20 μm 를 초과하여 이후의 실험에서는 회전수를 5,600rpm으로 고정하고 20 μm 이하의 분무입자 분포율을 분석하였다. 염수공급량 11.20mL/min에서는 98.49%가 20 μm 이하로 나타났고, 14.07mL/min에서는 83.60%, 16.77mL/min에서는 64.93%로 나타났으며, 19.70mL/min에서는 분무입자의 크기가 모두 20 μm 를 초과하여 25.12~215.44 μm 의 범위에 분포하였다.

Table 8. Cumulative number(%) according to spray particle size in the range of Revolution of BLDC sirocco fan = 3,800~5,600rpm when R_a is 0.27 μm and salt water supply rate is 2.77~8.28mL/min.

Spray particle size(μm)	Cumulative number(%) of spray particle				
	3,800 rpm	4,400 rpm	4,800 rpm	5,200 rpm	5,600 rpm
0.341	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.398	19.25	29.28	17.20	21.51	2.77
0.464	98.74	99.16	98.96	99.03	85.19
0.541	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

적 요

이 연구에서는 염수를 증발냉각법을 이용하여 담수를 생산할 목적으로 회전형 미세입자 분무장치를 설계·제작하여 회전체의 표면조도, BLDC 시로코 팬의 회전수 그리고 염수 공급량의 변화에 따른 분무입자의 크기와 분포 특성을 실험적으로 분석하고자 하였다. 회전체의 표면조도 $Ra = 0.27\sim 7.65\mu\text{m}$ 인 경우 분무입자 크기는 $0.117\sim 1.360\mu\text{m}$ 였고, 분무입자의 90% 가 $0.50\mu\text{m}$ 이하인 것으로 나타났다. $Ra = 12.70\sim 22.84\mu\text{m}$ 인 경우에는 분무입자 크기가 $2.51\sim 184.79\mu\text{m}$ 의 범위에 분포하였고, 분무입자의 98%가 $13.59\mu\text{m}$ 이하인 것으로 나타났다. BLDC 시로코 팬의 회전수가 분무입자의 크기와 분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표면조도 $Ra = 0.27\mu\text{m}$ 로 고정된 상태에서 염수 공급량을 일정하게 유지하면서 팬의 회전수를 $3,800\sim 5,600\text{rpm}$ 로 변화시켜가며 실험을 수행한 결과 염수 공급량이 $2.77\sim 8.28\text{mL}/\text{min}$ 인 경우에는 분무입자의 크기가 $0.314\sim 0.541\mu\text{m}$ 의 범위에 분포하였다. 또한 염수공급량이 $9.74\text{mL}/\text{min}$ 이고 회전수가 $5,600\text{rpm}$ 인 경우에는 분무입자의 98.23% 이상이 $2.51\sim 13.59\mu\text{m}$ 의 범위에 분포하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0135 2001)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Amsden, R. C., 1962. Reducing the evaporation of sprays. *Agri. Aviat.* 4: 88-93.
- Brandon, A. M. 2008. Waste to water: a low energy water distillation method. *Decalination* 220: 502-505.
- Brett, A. 2008. Effective scale control for seawater RO operating with high feed water pH and temperature. *Decalination* 220: 295-304.
- Kim, K. D., Y. S. Ha, K. M. Lee, D. H. Park, S. G. Kwon, J. M. Park, and S. W. Chung. 2010. Development of temperature control technology of root zone using evaporative cooling methods in the strawberry hydroponics. *J. Bio-Env Con.* 19(4): 184-188(in Korean).
- Kim, K. S., M. K. Kim, and I. H. Yu. 1999. Actual state of practical use and cooling effect of evaporative cooling system. *J. Bio. Fac.* 8(4): 281-287(in Korean).
- Matthews, G. A., 1992. *Pesticide application methods* 2nd edition. New York. USA.
- Nam, S.W., 1998. Adaptable of evaporative cooling system for greenhouse to the weather conditions of Korea. *J. Bio. Fac.* 7(4): 283-289(in Korean).
- Nam, S. W. and Y. S. Kim. 2011. Greenhouse cooling using air duct and integrated fan and pad system. *J. Bio-Env Con.* 20(3): 176-181(in Korean).
- Lee, H. S. 2011. Analysis of heating and desalination cycle using low temperature seawater. *Journal of the Korean Society of Marine Environmental engineering.* 14(4): 301-306(in Korean).
- Song, C. S. 2014. A study on the required energy of a thermal type desalination plant. *Journal of the Korean Society of Marine engineering.* 38(9): 1094-1100(in Korean).
- Yoon, Y. C., W. M. Suh, and J. Y. Lee. 1998. Spray characteristics of spray nozzles used for greenhouse cooling. *J. Bio. Fac.* 7(4): 298-310(in Korean).