한국액체미립화학회지 제22권 제1호(2017)
http://dx.doi.org/10.15435/JILASSKR.2017.22.1.13

고밀도 균일 안개스크린을 위한 에어로졸 유동의 최적 생성조건

신동수* · 송우석* · 김진원** · 김우진*** · 구자예†

Optimal Conditions of Aerosol Flow Generation for High-density and Uniform Fog Screen

Dongsoo Shin, Wooseok Song, Jinwon Kim, Woojin Kim and Jaye Koo

Key Words: Fog screen(안개스크린), Aerosol(에어로졸), Air curtain(에어커튼), Sauter mean diameter(Sauter 평균직경), Optical blockage ratio(광차단율)

Abstract

The fog screen is a device projecting the media to the aerosol flow field. As major parameters to generate dense and steady fog screen, shear stress, optical blockage ratio and SMD were obtained result through experiment. The micro droplet was generated by the piezo oscillation element, and the aerosol flow mixed with an air flow was sprayed into the vertical direction from the top of the fog screen through the 280 mm slot. For produce a dense, uniform fog screen, the shear effect, optical blockage ratio and SMD between aerosol and air curtain were measured. The minimum and maximum shear stress conditions were selected and it was confirmed that the optical transmission deviation of the aerosol flow field was small when the aerosol and air curtain flow rates were changed. When the aerosol and air curtain flow power were 18 V (1.51 m/s) and 24 V (2.55 m/s), respectively, under the condition of the minimum shear stress and laminar flow, the optical blockage ratios with the spray length were small, and it produced a most stable and high density uniform fog screen by injecting a constant of 10 μm or less.

기호설명

Re : Reynolds 수
u : 유동 속도(m/s)
x : 측정 거리(m)
μ : 점성계수(Pa·s)
D : 허니콤 출구 직경(m)
ρ : 밀도(kg/m³)
τ : 전단응력(Pa)
t : 에어로졸 두께(m)
V_{mean} : 측정 전압 평균(V)
V_0 : 전압 편차(V)
σ : 단위 두께당 광차단율(%/m)

Recieved: 30 Dec 2016, Recieved in revised form: 12 Mar 2017, Accepted: 14 Mar 2017)
*한국항공대학교 대학원
**㈜아트닉스
***초당대학교 항공정비학과
†책임저자, 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
E-mail : jykoo@kau.ac.kr
TEL : (02)300-0116 FAX : (02)3158-0117

1. 서 론

일반적인 투영식 영상표시장치는 불투명한 백색 평면체에 빔 프로젝터 영상을 투사하여 시각적인 효과를 발생시킨다. 안개스크린은 그와 다르게 안개와 공기가 혼합된 2상 유동(에어로졸)을 얇고 고르게 유동장 형태로 분사시켜 그 위에 영상을 투사시킨다[1]. 안개스크린은 물을 이용하여 안개를 생성시키지만, 전혀 젖는다는 느

낌을 주지 않는다. 이는 초음파를 이용하여 물을 아주 작은 안개입자로 분해시키기 때문에, 이 작은 입자들이 공기 중에 노출됐을 때 금방 증발해버리기 때문이다[2]. 안개 발생기로는 초음파분무변환기(ultrasonic atomizing transducer)를 이용하였다. 초음파를 이용한 미립자 생성 연구는 다양한 산업분야에서 수행되었으며, 마이크로 휜이 가공된 냉각면에 초음파 진동 미세액적을 분무하는 분무냉각열전달 연구가 수행되었고[3], 비료나 농약의 효율적인 분사를 위해 액체초음파분무를 도입하는 연구가 수행되고 있다[4]. 하지만, 초음파 안개 발생기를 이용한 스크린 생성에 대해 국내연구는 수행되지 않았다. 안개스크린은 공기 중에 에어로졸을 분사시켜 영상을 투사시키기 때문에 영상의 정보들을 뚜렷하게 전달하기 위해서는 유동장의 밀도가 낮거나 균일하지 않으면 영상의 시인성을 저해하여 정보를 제대로 전달하지 못할 수 있다.

비고체(non-solid) 스크린과 관련된 지식재산권은 19세기부터 활발히 진행되어 왔으며, 그 중 안개스크린과 홀로그래피에 관련된 지식재산권 또한 많이 공개가 되었다. 홀로그래피는 물체를 3차원적으로 기록 및 재생할 수 있는 영상표시방식이며, 홀로그램에 저장된 정보들을 추출 할 수도 있다[5]. 하지만 영상을 표시 할 수 있는 방식으로 보았을 때 안개스크린과 유사할 수 있지만, 레이저를 이용하여 빛의 간섭 효과를 주어야 하는 홀로그래피의 방법이 빔 프로젝터를 통하여 안개스크린에 영상을 투영하는 방법보다 복잡하기 때문에 안개스크린을 이용한 개발이 많이 이루어지고 있다.

안개스크린 장치에 대한 연구는 2002년 I. Rakkolainen과 K. Palovuori에 의해 처음 진행되었다[6]. 안개스크린의 첫 개발 이후 2차원 영상 표시기술의 활용[7-12] 및 3차원 영상 투사기술 개발[13-19] 등 다양한 방법으로 안개스크린을 연구하고 있다. 하지만 안개스크린에 대한 연구는 기술적인 측면에 대한 부분만 진행되어 왔으며, 고밀도의 안개스크린을 최적으로 생성시키기 위한 정량적인 연구결과는 부족하다. 정량적 연구를 통해 최적 안개스크린의 생성이 가능하다면, 차세대 멀티터치 기반 영상기술과 전염확산 방지를 위한 방역스크린 등으로 활용할 수 있다.

이전 연구에서는 광투과율만을 주요인자로 다루었으나[20], 본 연구에서는 안개유동과 에어커튼 유동의 유량에 따른 에어로졸과 에어커튼 사이의 전단효과 그리고 에어로졸의 광차단율, 에어로졸의 평균액적직경을 종합적으로 분석하여 안개스크린을 최적으로 발생시키는 조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 실험 조건

2.1 안개스크린 실험 장치

Fig. 1은 안개스크린 실험장치의 개략도이다. 장비 내부로 유입되는 안개 유동과 안개발생기에서 발생된 안개가 혼합된 에어로졸을 수직 아랫방향으로 분사시킨다. 주변 공기와의 속도 차이로 인한 에어로졸의 확산을 방지하기 위해 에어커튼 유동이 동시에 분사되며, 고르게 분사시키기 위해 100 mm의 허니콤을 안개스크린 장치 출구에 장착하였다. 에어로졸은 가로 폭 10 mm, 세로 폭 280 mm인 슬릿을 통하여 분사된다.

2.2 실험계측 장치 및 실험 조건

2.2.1 유속 측정실험

DANTEC Streamline Constant Temperature Anemometer(CTA) 열선유속계를 이용하여 안개스크린 장치에서 분사되는 에어로졸 유동과 에어커튼 유동에 대한 유속을 측정하였다. 안개스크린 장치와 CTA의 설치 개략도는 Fig. 2에 나타냈다. CTA에는 DANTEC 55P11 1차원

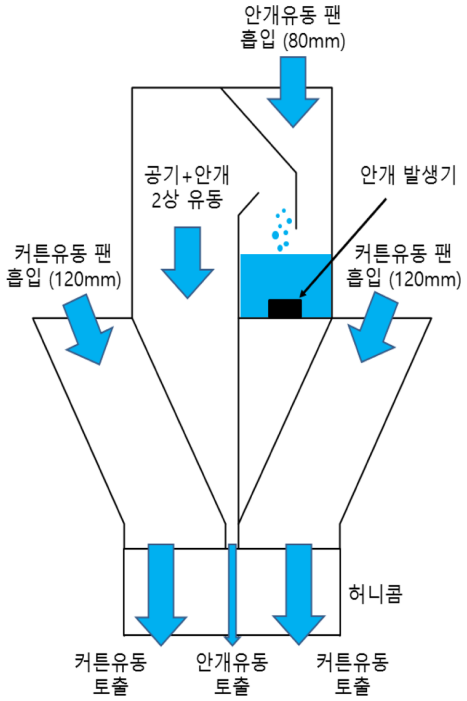

Fig. 1 Schematic of fog screen

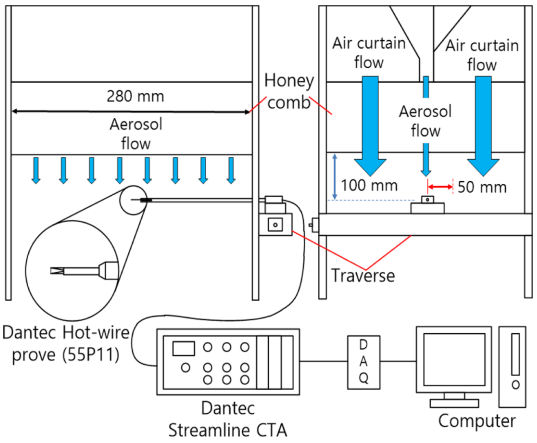

Fig. 2 Schematic of experimental setup for flow velocity measurement

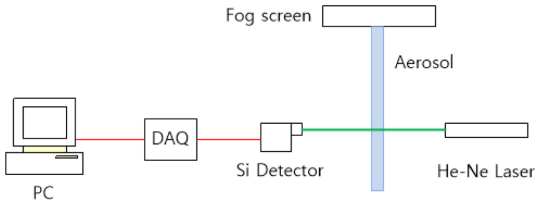

Fig. 3 Schematic of measurement system for optical blockage ratio

프로브를 장착하였으며, 지름이 5 μm인 도금 된 텅스텐 와이어가 연결되어 있다. 측정 위치는 에어로졸의 토출부로부터 하단 100 mm이다. 유속의 측정 범위는 안개스크린 장치의 중심(x=0 mm)에서부터 깊이 방향으로 50 mm(x=50 mm)까지 10 mm간격으로 측정하였으며, 측정 위치는 허니콤 출구 바로 아래에서 측정하였다.

DANTEC Streamline CTA 로 측정된 에어로졸 유동과 에어커튼 유동의 유속 데이터로 두 유동의 경계면에서의 전단응력과 각각의 측정지점에서의 Reynolds number를 계산하였다. 경계면에서의 전단응력은 식 (1), 각 유동의 Reynolds number는 식 (2)를 통해 계산할 수 있다.

$$\tau = \mu \frac{du}{dx} \tag{1}$$

$$Re_x = \frac{\rho u D}{\mu} \tag{2}$$

전단응력 τ와 Reynolds number를 구하기 위한 에어로졸의 점성계수 μ는 0.00051 Pa·s, 밀도 ρ는 500.6 kg/m^{3}이며, μ와 ρ는 물 0.5, 공기 0.5의 비율로 계산한 결과이다.

2.2.2 광차단율 실험

안개스크린 장치에서 분사되는 에어로졸의 액적 밀집도를 확인하기 위해 레이저 광차단 실험을 하였다. MELLES GRIOT 1 mW He-Ne Laser, Thorlabs PDA36A Si Detector, 632 nm bandpass filter를 이용하여 광차단율을 확인했다. 광차단 실험에 대한 장치 개략도는 Fig. 3에 나타냈다. 에어로졸로부터 투과되는 He-Ne Laser 빛을 632 nm bandpass filter가 장착된 Si Detector가 받아들여 DAQ로 빛의 전압을 측정하고, Labview로 투과된 측정 전압을 확인하였다. 본 실험에서 사용된 PDA36A Si Detector는 빛을 받아들이는 민감도를 조절할 수 있다. 실험에서 설정한 Si Detector의 민감도 설정값은 20 dB이며 전압 편차는 6 mV이다. 광차단 실험 측정 위치는 에어로졸 토출부로부터 하단 45 mm, 225 mm, 450 mm이다. He-Ne Laser와 Si Detector를 스테핑모터 이송장치와 결합하여 각 측정 위치에서 안개스크린의 깊이 방향으로 280 mm를 이송하여 측정하였다. 스테핑모터를 통해 이송되는 He-Ne Laser와 Si Detector의 이송속도는 0.0078 m/s이다.

2.2.3 SMD 측정실험

280 mm의 슬릿에서 분무되는 에어로졸의 SMD를 측정하기 위해 HELOS 레이저 회절 입경분석기를 사용하였다. 실험을 위해 사용된 HELOS 레이저 회절 입경분석기의 계산방법은 MIEE(Mie Extension Evaluation)으로 투명, 등방성, 구형 입자 측정에 유리하고, 다중범위 입경 측정에 적합하다. 분무 액적을 측정하는 레이저는 직경 29.5 mm의 원형(면적 683.5 mm^2)으로 5초간 발진되며, 액적크기의 측정범위는 0.1~8750 μm이다. 레이저가 분무를 통과하는 원통형 체적 내에 존재하는 액적들에 의한 다중산란광을 분석하여 측정 영역 내에서의 액

Table 1. Environmental conditions

Description	Aerosol	Air
Temperature (°C)	15	15
Density (kg/m³)	500.6	1000
Viscosity (kg/m·s)	0.00051	0.0114
Applied Voltage (V)	6~24	9~24
Flow velocity (m/s)	0.7~3.68	1.2~3.1
Flow measure point	100 mm	
Optical measure point	45 mm, 225 mm, 450 mm	
SMD measure point	200 mm	

Table 2. Equipment Specifications

Anemometer	DANTEC Streamline CTA
A/D board	NI SC-2040 (12bit, 8channels)
Probe	DANTEC 55P11 single sensor prove(Plated tungsten wire, 5 μm dia.)
Calibrated velocity range	0.2 m/s ~ 500 m/s
Laser	MELLES GRIOT 1 mW He-Ne laser
Wavelength	632.8 nm
Beam diameter	0.59 mm
Operating current nominal	6.5 mA
Detector	Thorlab PDA36A Si Detector +632 nm bandpass filter
Gain adjustment range	0~70 dB
Output voltage	0~10V
SMD device	SYMPATEC HELOS KR
Measuring range	0.1~8750 μm
Theory	scattering (632.8 nm)
Number of measurements	2000 times per second
Calculation method	FREE (Fraunhofer Enhanced Evaluation) MIEE (Mie Extended Evaluation)
Laser size	2.2 mm ~ 35 mm

적 직경분포 및 평균 액적직경을 얻는다. 에어로졸 유동의 SMD 측정은 토출부로부터 하단 200 mm에서 측정하였으며, 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 팬의 인가전압에 따라 5회 측정하였다.

실험환경에 대한 조건과 실험에 사용된 장비의 제원은 각각 Table 1과 Table 2에 나타냈다.

3. 실험 결과

3.1 에어로졸과 에어커튼의 유동 특성

Fig. 4는 에어로졸 유동과 에어커튼 유동의 출력 변화에 따른 에어로졸 유속변화이고, Fig. 4는 에어로졸 유

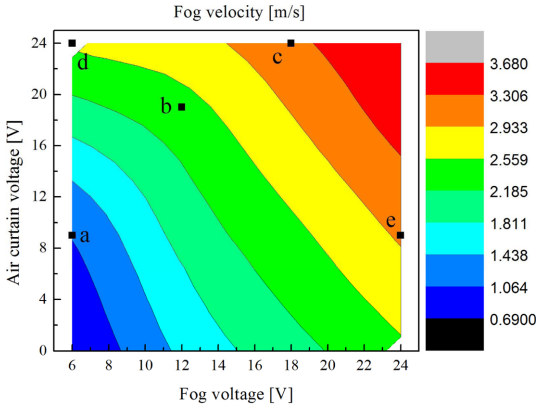

Fig. 4 Fog velocity with various air curtain and fog voltage

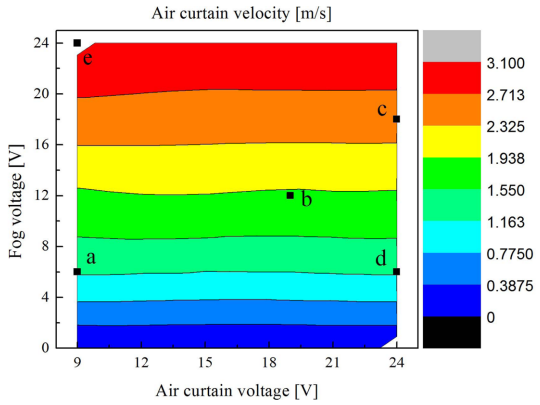

Fig. 5 Air curtain velocity with various air curtain and fog voltage

동과 에어커튼 유동의 출력 변화에 따른 에어커튼 유속변화를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 4와 Fig. 5의 오른쪽에 표시된 스케일은 각각의 유동 출력변화에 따른 유속범위를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 에어커튼 유동의 유속은 각 유동의 출력 변화에도 큰 변화가 없는 반면에, Fig. 3에서는 출력 변화에 따른 유속이 변하고 있다. 이는 에어로졸 분사 위치에서의 에어커튼 유동이 영향을 주기 때문에 유속의 변화가 일어난 것이다.

안개스크린에서 분사되는 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 사이의 전단응력 분포를 Fig. 6에 나타냈으며, Fig. 6의 오른쪽 스케일은 전단응력 분포 범위를 나타낸다. 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 사이의 유속 차에 의하여 전단효과가 다르게 나타났다. 에어로졸 유동의 유속이 에어커튼 유동의 유속보다 크게 발생할 때, 경계면에서의 전단작용은 에어로졸 유동이 아랫방향으로, 에어

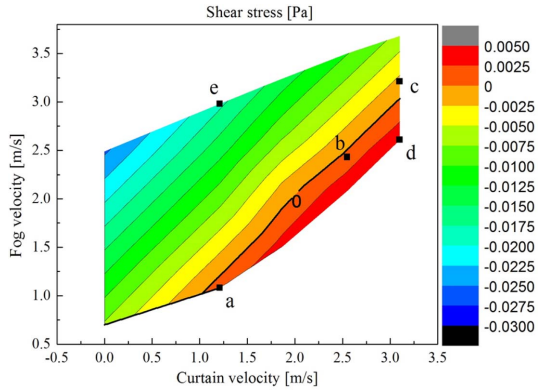

Fig. 6 Shear stress with various fog velocities and air curtain velocities

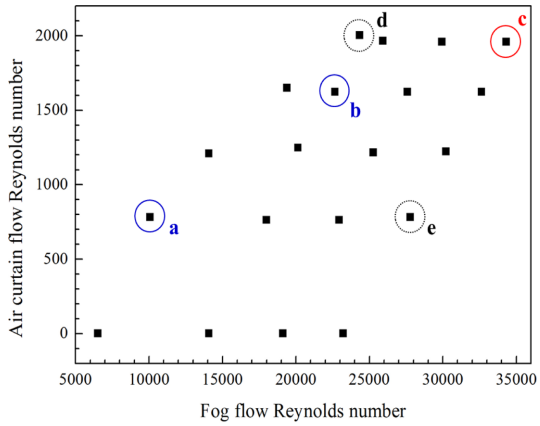

Fig. 7 Reynolds numbers of fog flow and air curtain flow

커튼 유동은 윗방향으로 작용한다. 이러한 전단현상이 일어나는 것은 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 사이의 상대적인 속도 차에 의하여 나타난다. 균일도 높은 에어로졸 유동을 분사시키기 위한 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 사이의 경계 면에서 작용하는 전단응력은 0 Pa에 가까워야 한다. 이에 부합하는 조건인 Case a, b, c를 설정을 하였고, 설정된 조건을 비교하기 위한 반대의 조건 Case d와 e를 설정하였다.

에어로졸 유동과 에어커튼 유동의 유속에 따른 각 유동의 Reynolds number를 Fig. 7에 나타냈다. 안개스크린에서 에어로졸과 에어커튼 유동의 최적 균일 조건이 되기 위해서는 층류 조건에서 분사가 되어야 한다. Fig. 7에 나타난 에어로졸 유동의 모든 조건에서는 Reynolds number가 5000이상으로 난류유동 조건에 속하였지만, 에어커튼유동에서는 Reynolds number가 최대 2100으로 대부분 층류유동 조건에 속하였다. Fig. 6와 7의 결과를 바탕으로 균일한 에어로졸 유동을 형성시키기 위한 낮은 전단응력 및 층류 조건과 반대 조건인 높은 전단응력 조건을 선택하여 Table 3에 실험 조건들을 나타냈다. 또한 각 실험조건에서 안개 스크린의 단면을 가시화하여 Fig. 8에 나타냈다. Fig. 8에서 전단응력이 최소가 되는 조건들은 에어로졸과 에어커튼 사이의 경계면에서 안개의 확산 정도가 적은 것으로 나타났다. 반면에 높은 전단응력을 일으키는 조건에서 Case d는 에어커튼 유동의 높은 유속으로 인하여 에어로졸 유동 내부로 에어커튼 유동이 침투하였고, Case e에서는 에어로졸 유동의 높은 유속으로 인하여 주변으로 에어로졸이 크게 확산하였다.

3.2 에어로졸 액적 밀집도 특성

선명한 스크린의 생성을 위해서는 얇은 두께의 스크

Table 3. Experimental conditions

Case	Condition				Shear stress (N/m^2)	Re	State
	Fog condition		Air curtain condition				
	Vol. (V)	Vel. (m/s)	Vol. (V)	Vel. (m/s)			
a	6	1.08	9	1.21	1.33×10^{-3}	782	Low shear stress, Laminar
b	12	2.43	19	2.51	8.16×10^{-4}	1622	Low shear stress, Laminar
c	18	3.21	24	3.03	-1.84×10^{-3}	1960	Low shear stress, Laminar-Turbulent transition
d	6	1.08	24	3.1	5.0×10^{-3}	2010	High shear stress, Laminar-Turbulent transition
e	24	3.68	9	1.21	-1.81×10^{-2}	782	High shear stress, Laminar

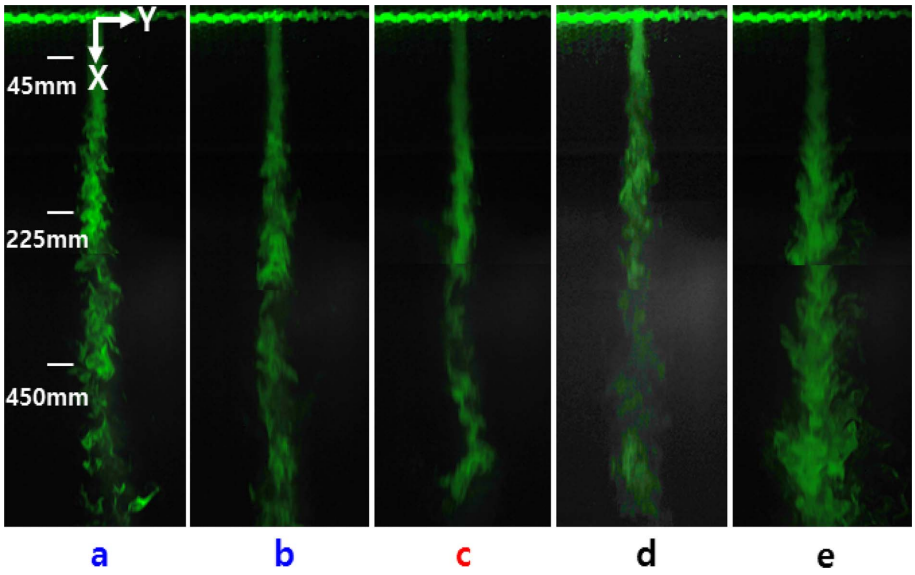

Fig. 8 Visualized cross section of aerosol screen at experimental cases

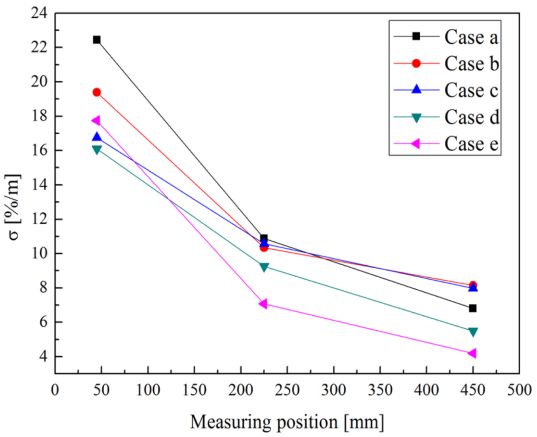

Fig. 9 Optical blockage ratios at each measuring position

린에 안개입자가 잘 밀집되어 단위 두께당 빛의 차단율이 높아야 한다. Fig. 8에 나타낸 조건에 따른 각 측정위치에서의 분사되는 에어로졸의 두께 t 값을 가시화 사진을 통해 측정하여 Table 4에 나타내었다.

광투과 실험을 통해 계측된 레이저의 전압값을 안개 스크린이 없을 때의 기준값으로 무차원화 하여 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 이 값이 클수록 안개스크린이 빛을 차단하는 효과가 크다고 판단할 수 있다. 하지만 안개가 두껍고 넓게 퍼질 경우에도 차단율은 높지만 스크린으로써의 선명한 이미지 재현이 어려우므로 이를 단위 두께당 차단율로써 환산이 필요하며 식 (4)와 같이 나타

Table 4. Screen thickness at each measuring position

Position / Condition	45 mm	225 mm	450 mm
a	23.024	47.517	75.936
b	23.328	43.711	55.569
c	25.888	40.99	54.428
d	26.4	45.909	77.405
e	26.737	67.057	113.01

낼 수 있다. 최종적으로 안개 스크린의 선명도를 판별할 수 있는 광차단율 σ를 식 (4)로부터 도출 할 수 있다.

$$V_{per} = \frac{V_0 - V_{mean}}{V_0} \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{V_{per}}{t} \tag{4}$$

식 (4)를 통해 각 측정위치에 따른 에어로졸의 광차단율을 알 수 있으며, 이는 σ의 수치가 높을수록 에어로졸의 액적이 밀집되어 투영되는 영상의 빛이 투과되는 정도가 낮은 것을 의미한다. 식 (4)에 대한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 높은 전단응력 조건인 Case d와 e의 경우, 모든 측정위치에서 낮은 σ값을 나타내면서 에어로졸의 액적 밀집에는 좋지 않은 것으로 나타났다. 낮은 전단응력 이면서 층류 조건인 Case a는 45 mm에서 약

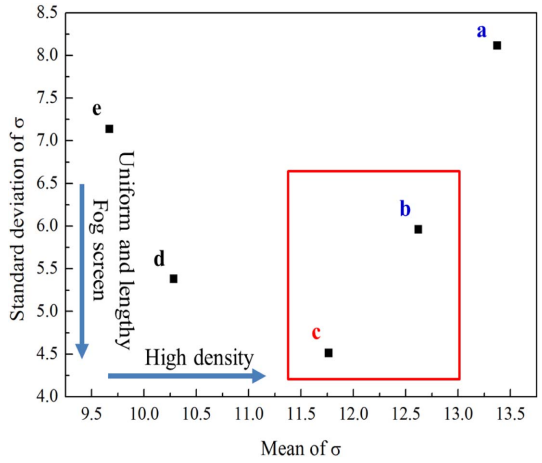

Fig. 10 Standard deviations and means of optical blockage ratios at various conditions

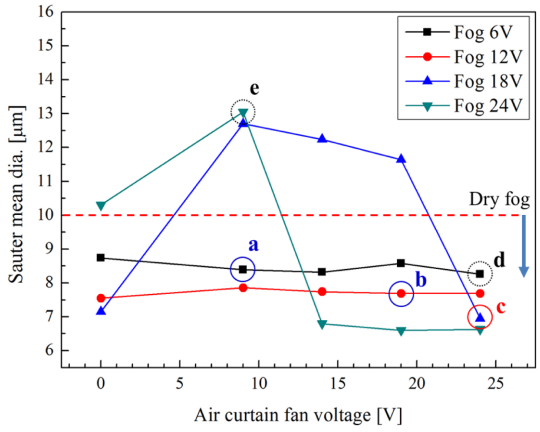

Fig. 11 SMD of aerosol at various air curtain flow velocities with fog flow velocities

22.5%/m로 가장 높은 σ값을 나타냈지만 측정위치가 변화할수록 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. Case a와 같은 조건인 Case b는 45 mm에서 Case a보다 낮은 약 19.5%/m가 측정되었지만, 측정위치의 변화에 따라 Case a보다 σ값이 커지면서 에어로졸 액적이 밀집되었다는 것을 알 수 있었다. 난류조건인 Case c는 45 mm에서 낮은 σ값을 보였지만, 225 mm와 450 mm에서 Case b와 거의 같은 수치를 보이면서 액적 밀집에 대한 균일한 결과를 나타냈다. 각 측정위치에서의 σ값을 평균과 표준편차로 계산하여 Fig. 10에 나타내었다. 그래프에 제시된 평균 차단율은 높을수록 밀집도가 높고 차단율이 높은 스크린의 생성을 의미하며, 표준편차는 스크린 상류와 하류의 차단율 차이를 나타내고 있어 표준편차가 낮을수록 상류부터 하류까지 균일하고 더 긴 길이의 스크린 생성이 가능하다는 것을 의미한다. Case a의 경우에는 가장 높은 평균 차단율을 보이나 낮은 유속 때문에 에어로졸의 침투거리가 짧아져 상하류 편차가 커지는 것을 보여준다. 이러한 조건은 상류에만 선명한 스크린의 생성이 가능하고 하류로 갈수록 에어로졸이 확산하면서 차단율이 높으면서 스크린 생성길이를 늘릴 수 있는 적정한 조건으로는 Case b와 c가 있으며, Case d와 e는 평균 차단율도 낮고 상하류 균일도가 나쁜 것으로 결과가 도출되었다.

3.3 에어로졸 SMD 분포

에어로졸은 입자크기마다 성질이 달라질 수 있으며, 약 10 μm에서는 건조 안개, 25 μm에서는 습윤 안개, 50 μm에서는 미스트, 60 μm에서는 일반적인 분무로 범위를 나타낼 수 있다. 안개스크린에서 분무되는 에어로졸은 물체 표면에 접촉되었을 때 액적이 바로 증발해야 하므로 에어로졸의 액적크기가 10 μm이하가 되도록 해야 한다[6]. 에어로졸 유동과 에어커튼 유동의 유속에 따른 에어로졸 SMD의 측정 결과를 Fig. 11에 나타냈다. 에어로졸 유동과 에어커튼 유동의 유속이 증가할수록 에어로졸의 SMD는 7.2 μm에서 8.7 μm로 건조 안개 조건인 10 μm이하를 충족하는 것을 확인하였다. 하지만 간헐적으로 에어로졸 유동의 출력 18 V이상에서 입자크기가 10 μm이상인 에어로졸 액적이 측정되었다. 이는 장치 내부의 초음파 발생기에 의한 물 표면에서 튀어오르는 큰 액적이 빠른 에어로졸 유속에 의해 에어로졸과 함께 수반되어 분무되는 것으로 추정된다. 에어로졸이 토출 될 때, 에어로졸 유동의 출력 변화에도 불구하고 Fig. 11에서 에어커튼 유동의 출력 변화에 따른 SMD변화가 미미한 구간이 있는 것으로 보아 에어커튼 유동의 영향은 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11에서 나타나는 간헐적인 큰 입자 액적검출에 대하여 분사되는 액적의 낙수량을 측정하여 Fig. 12에 나타냈다. 액적의 낙수량은 에어커튼 유동 팬은 작동하지 않고 에어로졸 유동의 유속만 변화시켰으며, 1분 간격으로 6분 동안 액적이 누적되는 양을 측정하였다. 에어로졸 유동의 출력이 높아질수록 낙수량이 많아졌으며, 특히 에어로졸의 출력이 18 V가 되는 때부터 낙수량이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 10에서 측정된 간헐적인 큰 액적은 에어로졸 유동과 함께 수반되어 떨어지기 때문으로 판단된다. 최종적으로 낙

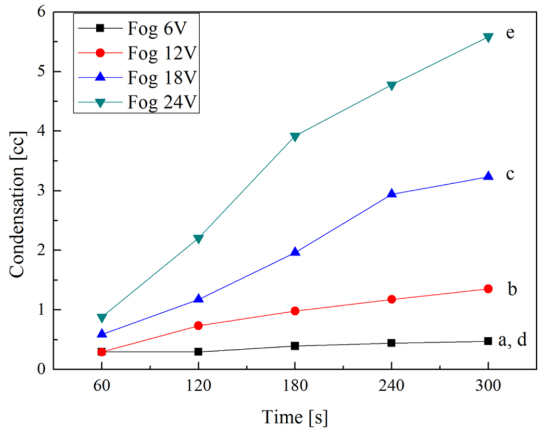

Fig. 12 Accumulation condensation rate until 300 second

수량이 적으면서 상하류가 균일하고 밀집도가 높은 안개스크린의 생성이 가능한 조건은 Case b가 가장 최적인 것을 확인하였다.

4. 결 론

고밀도 균일 안개스크린을 위한 에어로졸 유동의 최적 생성조건을 찾기 위해 에어로졸 유동과 에어커튼 유동 사이의 전단응력 작용, Reynolds number 등 유동 특성을 확인하였다. 또한 정해진 조건을 바탕으로 에어로졸의 균일한 분사조건을 확인하기 위해 광차단율 실험과 에어로졸 SMD 측정 실험을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 전단응력 값이 최대와 최소가 되는 조건, Reynolds number가 최대한 층류가 되는 조건을 정하여 거시적 분무실험을 한 결과, 전단응력이 최대가 되는 조건에서는 에어커튼 유동이 에어로졸을 교란시킬 수 있어 전단응력이 최저가 되는 조건이 요구된다.

(2) 높은 전단응력에서는 측정위치에 따라 에어로졸의 두께가 크게 증가하면서 광차단율이 작아지는 경향이 보였으며, 이는 에어로졸 액적의 밀집도가 낮다는 것을 보여준다. 낮은 전단응력 조건에서는 대체적으로 광차단율이 고르게 높은 값을 나타내면서 밀집도가 높은 스크린을 형성하였으나, 에어로졸 및 커튼의 토출속도가 지나치게 낮은 경우에는 에어로졸의 침투거리가 짧아져 하류까지 균일한 스크린 생성이 어렵다.

(3) SMD측정 및 낙수량 측정 실험을 통하여 낮은 전단응력 분포 조건에서도 에어로졸 토출속도가 너무 높은 경우에는 내부의 큰 액적을 같이 배출하여 낙수량이 증가하는 경향을 보이므로, 침투거리 증대를 위해 지나치게 토출속도를 높이는 것은 안개스크린 생성에 역효과가 발생한다.

(4) 최종적으로 에어로졸의 유동특성과 액적 밀집 그리고 SMD 측정 실험을 통하여 에어로졸과 커튼의 속도차가 적어 전단응력이 낮고 에어로졸의 Reynolds 수가 약 20,000 인 조건에서 낙수량을 줄이면서 최대의 토출길이로 안개스크린을 생성할 수 있다.

후 기

본 연구는 2015년도 중소기업청 산학연협력 기술개발 지원사업(첫걸음 기술개발, C0352578) 및 서울대학교 차세대 우주추진 연구센터와 연계된 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 선도연구센터지원사업(NRF-2013R1A5A1073861)의 연구 결과입니다.

참고문헌

(1) S. DiVerdi, I. Rakkolainen, T. Höllerer and A. Olwal, “A novel walk-through 3D display”, Proceedings of SPIE 2006 Electronic Imaging, Vol. 6055, 2006, pp. 428~437.

(2) 김영찬, “초음파진동을 이용한 미세분무냉각 열전달에 관한 실험적 연구”, 한국액체미립화학회지, Vol. 15, No. 4, 2010, pp. 202~207.

(3) 정진도, 임영재, “농업용 액체 분무용 초음파 분사효과에 관한 실험적 연구,“ 한국액체미립화학회지, Vol. 8, No. 4, 2003, pp. 1~8.

(4) I. Rakkolainen and K. Palovuori, “Invited Paper: Fog Screen—An Immaterial, Interactive Screen”, In SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol. 36, No. 1, 2005, pp. 102~105.

(5) 양얀, 강보선, “디지털 입자 홀로그래피의 입자 초점심도에 관한 연구”, 한국액체미립화학회지, Vol. 14, No. 2, 2009, pp. 77~83.

(6) I. Rakkolainen and K. Palovuori, “A walk-thru screen”, Electronic Imaging 2002. International Society for Optics and Photonics, 2002, pp. 17~22.

(7) I. Rakkolainen and T. Höllerer, S. DiVerdi, and A. Olwal, “Mid-air display experiments to create novel

user interfaces", Multimedia tools and applications, Vol. 44, No. 3, 2009, pp. 389~405.

(8) I. Rakkolainen A. Sand, and K. Palovuori, "Midair User Interfaces Employing Particle Screens", IEEE computer graphics and applications, Vol. 35, No. 2, 2015, pp 96~102.

(9) I. Rakkolainen and K. Palovuori, "A Fluorescent Mid-air Screen", 2013 IEEE International Symposium on Multimedia, 2013.

(10) A. Sand, I. Rakkolainen, P. Isokoski, R. Raisamo and K. Palovuori, "Light-weight immaterial particle displays with mid-air tactile feedback", Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE), 2015 IEEE International Symposium, 2015, pp. 1~5.

(11) I. Rakkolainen, T. Erdem, B. Utku, C. E. Erdem and M. Ozkan, "Mid-air display for physical exercise and gaming", 2007 3DTV Conference. IEEE, 2007, pp. 1~4.

(12) L. RajendraKumar and M. Susila, "Wireless impetus technology on synaesthetic ambient intelligence (WITS-AI)", Computing and Communications Technologies (ICCCT), 2015 International Conference on IEEE, 2015, pp. 105~108.

(13) A. Olwal, S. DiVerdi, N. Candussi, I. Rakkolainen and T. Höllerer, "An Immaterial, Dual-sided Display System with 3D Interaction", Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference 2006, 2006, pp. 279~280.

(14) C. Lee, S. DiVerdi and T. Höllerer, "Depth-fused 3D imagery on an immaterial display," IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol. 15, No. 1, 2009, pp. 20~33.

(15) A. Yagi, M. Imura, Y. Kuroda and O. Oshiro, "360-degree fog projection interactive display", ACM SIGGRAPH Asia 2011 Emerging Technologies, 2011, pp. 19.

(16) M. L. Lam, B. Chen and Y. Huang, "A novel volumetric display using fog emitter matrix", 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2015, pp. 4452~4457.

(17) Y. Tokuda, K. Nishimura, Y. Suzuki, T. Tanikawa and M. Hirose, "Vortex ring based display", Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 2010 16th International Conference on IEEE, 2010, pp. 51~54.

(18) M. L. Lam, "Virtual 3D perception in a fog projection installation", Virtual Systems & Multimedia (VSMM), 2014 International Conference on IEEE, 2014, pp. 228~231.

(19) G. Caruso, M. Carulli and M. Bordegoni, "Augmented Reality System for the Visualization and Interaction with 3D Digital Models in a Wide Environment", Computer-Aided Design and Applications, Vol. 12, No. 1, 2015, pp. 86~95.

(20) 신동수, 김도헌 송우석, 김진원, 구자예, "최적 광투과율을 위한 안개스크린의 유동조건, "한국액체미립화학회 학술강연회 논문집, Vol. 2016, 2016, pp. 45~46.