

Full Cone Type 스월노즐에서 단일분무와 이중분무의 중첩영역에 대한 충격력 평가

김태현* · 성연모* · 정흥철* · 김덕줄** · 최경민†

Evaluation of the Impact Force on the Single Spray and Overlap Region of Twin Spray in Full Cone Type Swirl Nozzle

T. H. Kim, Y. M. Sung, H. C. Jeong, D. J. Kim and G. M. Choi

Key Words: Spray characteristics(분무특성), Twin spray(이중분무), Impact force(충격력), Particle motion analysis system(입자운동분석시스템)

Abstract

The impact force on the single and overlap region of twin spray was experimentally evaluated using visualization method in full cone type swirl nozzle spray. Visualization of spray was conducted to obtain the spray angle and breakup process. The photography/imaging technique, based on Particle Image Velocimetry (PIV) using high-speed camera, was adopted for the direct observation of droplet motion and axial velocity measurement, respectively. Droplet size was measured by Particle Motion Analyze System (PMAS). The purpose of this study is to provide fundamental information of spray characteristics, such as impact force, for higher etching factor in the practical wet etching system. It was found that the spray angle, axial velocity and impact force were increased with increasing the nozzle pressure while droplet size decreased with increasing the nozzle pressure. Droplet size increased as the distance from nozzle tip was decreased. The impact force of twin spray in the overlap region was about 63.29, 67.02, 52.41% higher than that of single spray at 40, 50 and 60 mm of nozzle pitch, respectively. Also, the nozzle pitch was one of the important factors in the twin spray characteristics.

기호설명

U : 축방향 속도 [m/s]
 D_{10} : 산술평균입경 [μm]
 I_F : 평균 충격력 [μN]
 R_D : 반경방향 거리[mm]
 Z : 선단거리 [mm]
 P_i : 분사압력 [MPa]

1. 서 론

분무기술은 고체를 비롯한 여러 종류의 물질을 특정한 조건하에서 분사시키는 기술로서 분무냉각, 분무도장 및 연료장치 뿐만 아니라 최근에는 습식에칭이나 미립분사 등과 같은 초정밀가공 및 전기전자소재의 산업 등에서도 다양하게 응용되어 사용되고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 특히 반도체 및 전기전자소재의 산업에서는 초정밀 미세가공기술로 포토에칭기술을 이용하고 있으며 포토에칭기술은 사진기법을 이용하는 포토공정과 에칭공정을 합한 기술로 가공하고자 하는 대상물에 감광성수지(photoresist)를 코팅하고 특정패턴을 적절한 파장의 빛과 마스크를 이용하여 정확한 위치와 정확한 크기로 전사한 후 현상과

(2010년 10월 29일 접수 ~ 2011년 3월 16일 심사완료, 2011년 3월 23일 게재확정)

* 부산대학교 기계공학부 대학원

** 부산대학교 기계기술연구원

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : choigm@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-2476 FAX : (051)512-5236

현상에 의해 노출된 부분을 습식 에칭 또는 건식 에칭으로 제거하여 제품이나 형상을 가공하는 기술이다⁽¹⁻³⁾. 포토에칭기술 중 핵심 기술인 습식에칭기술은 분무에칭기술로서 에칭용액을 가공물체에 분사시켜 액적의 입경, 속도, 충격력에 의해 가공물체에 고정체의 패턴을 형성시키는 것이다⁽⁴⁾. 따라서 분사되는 액적들의 크기, 유속, 충격력 등의 분무특성은 미세가공 제품의 품질 및 생산성에 중요한 인자가 되며, 이는 곧 에칭시스템의 공정 특성 및 조건에 좌우된다. 이들 에칭 시스템의 공정 특성 및 조건들은 매우 밀접한 상호 연관성을 가지고 있으므로 공정의 최적화를 위해서는 이러한 분무특성과 에칭능의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해가 필요하다.

액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구는 다양한 분야에서 응용되고 있으며, 특히 산업용 노즐의 분무특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 김영진⁽⁵⁾ 등은 이중분무에서 노즐 피치의 변화는 분무특성을 좌우하는 중요한 요인으로서 피치가 증가할수록 중첩영역 중심에서 축방향 속도와 SMD(Sauter Mean Diameter)는 감소한다고 보고하였다. 조대진⁽⁶⁾ 등은 이중분무 교차지역에서의 액적유동특성의 통계학적 분석을 통하여 이중분무의 분무구조에 대해 분무간섭에 따른 액적층들의 효과와 주위기체 유입의 영향이 매우 큼을 확인하였으며, 주위기체 유입현상에 대한 정성적, 정량적 규명이 이루어져야 한다고 보고하였다. 정지원^(7,8) 등은 미세가공시스템에서 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향을 연구하여 에칭특성과 분무특성이 상호 연관성을 가진다고 보고하였다. Yule⁽⁹⁾ 등은 고압 분사에서 스웰노즐의 성능을 유출계수(discharge coefficient, C_d)와 분무각, 액적크기 등을 측정하여 분석하였다. 정영호⁽¹⁰⁾ 등은 압력 스웰 노즐에서 특징적인 형상 변화를 주어 형상 변화가 분무 특성에 미치는 영향에 대해 실험적 연구하였으며, 노즐 구조의 특성에 따라 평균입경과 분무각 등의 경향이 변화하였고, 오리피스 직경과 길이를 늘린 경우 평균입경이 작아지는 특징을 확인하였으며 직경을 넓힌 경우 넓은 분무각을 얻는다는 결과를 얻었다. 정지원⁽¹¹⁾ 등은 이중분무의 중첩영역과 단일분무에서 액적의 거동 특성을 분석하여 이중분무의 중첩영역에서의 액적크기는 단일분무와는 다르다는 것을 관찰했으며, 노즐피치가 협소할수록 중첩영역에서 액적의 크기가 감소한다는 결론을 얻었다.

한편, 에칭공정에서 에칭성능을 나타내는 것이 에칭계수 인데, 분무특성 중 에칭계수와 큰 상관관계를 가지고 있는 것이 충격력이다. 충격력은 분무액적의 입경과 유속으로 통해 구하게 된다. 그러나 이러한 분무특성을

에칭공정에 적용하여 에칭성능 향상을 위한 연구는 상대적으로 부족한 실정이며, 실제 현장에서는 하나의 노즐을 가지고 동일한 환경에서 동일한 조건으로 분사하기 때문에 분무특성에 영향을 미치는 유속, 입경 등을 조절하는데 필요한 분사압력에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Full cone type 스웰노즐의 에칭성능을 간접적으로 예측하기 위해, 선단거리 및 분사압력에 따라 분무액적의 축 방향 유속과 크기를 측정하고 이 두 가지 분무특성을 이용하여 에칭성능에 영향을 미치는 충격력을 도출하였다. 또한, 이러한 유속, 입경 및 충격력 등의 분무특성을 단일분무와 이중분무의 비교를 통하여 이중분무의 중첩영역에서의 충격력에 대한 평가를 하였다. 따라서 본 연구의 목적은 Full cone type 스웰노즐의 미시적 분무특성을 분석하여 에칭공정에서의 성능 예측을 위한 기초정보를 제공하는데 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다. 분무특성 분석을 위한 실험장치는 작동유체의 분무를 위한 분사시스템, 분무액적의 축 방향 속도를 위한 PIV 시스템 및 분무액적의 입경 측정을 위한 PMAS 등으로 구성 되어있다. 분사시스템은 스웰노즐, 압력계, 펌프, 레귤레이터, 수조, 분사압력 조절을 위한 밸브 등으로 구성되어 있다. PMAS(Mx-II, V-tek)는 광 지속 시간이 50 ns인 광원과 CCD카메라, 렌즈, 필터 화

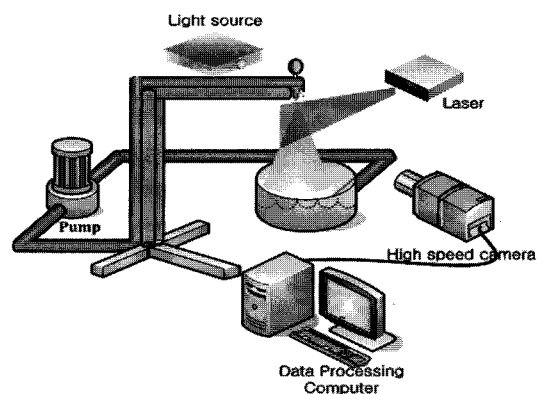


Fig. 1 Schematic diagram of experiment set-up for spray characteristics analysis

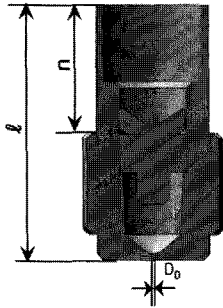


Fig. 2 Configuration of nozzle

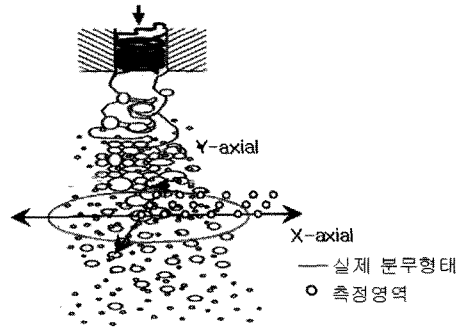
Table 1. Specification of nozzle

l (mm)	n (mm)	D ₀ (mm)	Swirl angle (°)	Mass (g)
22	11.5	1	36	4.1

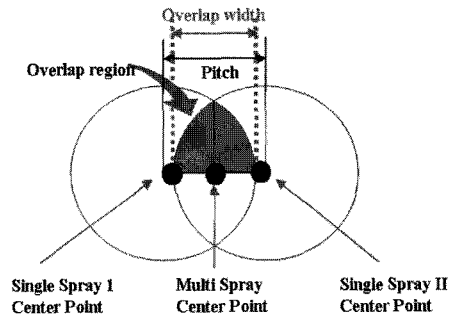
상을 기록하기 위한 화상획득장치(framegrabber), 4-채널 컨트롤 보드 및 PC 등으로 이루어져 있다. PIV 시스템은 광원으로 532 nm 파장 대의 반도체 레이저(GAM 5000, AIXIZ), 고속카메라(FASTCAM-1024PCI, Photron), 3차원 이송장치, 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 실험에 사용된 펌프는 3.7 kW(SHP)로 프레임은 112 m인 펌프를 사용하였다. 또한 분무의 가시화 장치는 디지털 카메라(D90, Nikon) 및 stroboscope로 구성되어 있다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 노즐을 간략히 그린 것이다. Table 1은 실험에 사용된 노즐의 사양을 나타낸 것이다. l은 노즐의 전체 길이를 나타내고 n는 나사산길이이고 D₀은 노즐의 직경을 나타낸다. 그리고 노즐의 스윙각은 36°이다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 단일 및 이중분무의 분무특성을 비교하기 위해 단일분무에서는 한 개의 노즐을, 이중분무에서는 동일한 두 개의 노즐을 동일한 선단거리에 평행하게 설치하였다. 또한, 이중분무에서 동일한 두 노즐의 분무영역 중 겹쳐지는 영역을 중첩영역이라 하였으며, 두 노즐간의 거리를 피치(pitch)로 정의하였다. Fig. 3은 본 실험에서 분무특성을 분석하기 위한 측정위치를 나타낸다. Fig. 3(a)는 단일분무에 대한 측정위치를 나타내는데, 분무의 대칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 한쪽방향으로 분무액적의 크기와 축 방향속도를 측정하였다. 측정은 선단거리가 90, 100, 110 mm인 지점의 횡단면에 대하여 분



(a) Single spray



(b) Twin spray

Fig. 3 Measurement position of single and twin spray

무중심으로부터 반경방향으로 분무액적이 도달하는 위치까지 측정하였으며, 횡단면에서의 측정간격은 10 mm로 하였다. 작동유체는 상온의 수돗물을 사용하였고, 분사 압력 조절은 펌프에서 나오는 유량을 압력조절기를 이용하여 조절하였다. 분무특성은 액적의 축 방향 속도(Axial velocity, U)와 액적의 크기(D₁₀)를 측정하여 나타내었다. 또한 액적의 축 방향 속도와 액적의 크기로부터 충격력을 계산하여 나타내었다. 충격력(Impact force, I_F)은 액적을 구형이라 가정했을 때 액적크기를 이용하여 구한 액적의 질량에 축 방향 속도를 곱하여 측정시간으로 나눈 값으로 정의하였으며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$I_F = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\pi}{6} d_i^3 \rho U_i}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서 d_i는 개별 액적 직경, U_i는 개별 액적 축방향 속도, t는 측정시간이고 ρ는 액적밀도를 의미한다. Table 2는 분무특성 분석을 위한 실험조건을 나타내고 있다.

Fig. 3(b)는 이중분무의 중첩영역에 대한 측정위치를 나타낸다. 단일분무 실험결과를 토대로 하여 선단거리와 압력을 각각 100 mm와 0.3 MPa로 고정하고 노즐피치는

Table 2. Experimental conditions for spray characteristics

Distance from nozzle tip (mm)	Injection pressure (MPa)
90	0.2
	0.3
	0.4
100	0.2
	0.3
	0.4
110	0.2
	0.3
	0.4

40, 50, 60 mm인 조건으로 나누어 실험을 수행하였다. 측정위치는 두 노즐의 중첩되는 부분의 중심을 원점으로 하고 원점을 기준으로 좌우 반경방향으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분무의 가시화

Fig. 4는 stroboscope를 광원으로 사용한 고속 순간 촬영법을 이용하여 분사압력이 0.2, 0.3, 0.4 MPa일 때, 단일분무의 형상 및 분열과정을 가시화한 것이다. 분사압

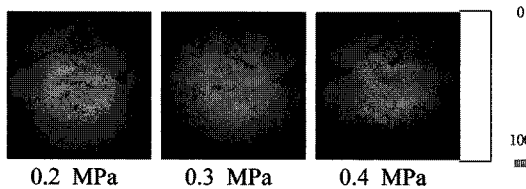


Fig. 4 Visualization of Spray with pressures at 100 mm from the nozzle

Table 3. Mass flow rate and Spray angle of nozzle with spray pressures

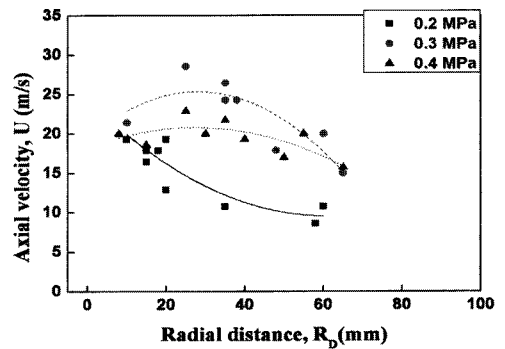
Spray pressure (MPa)	Mass Flow rate (kg/min)	Spray angle (°)
0.1	0.59475	58
0.2	0.894218	61
0.3	1.132258	63
0.4	1.319838	66
0.5	1.493264	68

력이 증가할수록 동일한 측정영역에서의 미립화가 원활하게 이루어지는 것이 거시적으로 관찰되었으며, 스웰에 의한 회전력이 크게 작용하여 분무각이 증가하는 경향을 보였다. 분무유량과 분사각이 분사압력 증가에 따라 선형적으로 증가하고 있는 것을 Table 3에서 수치적으로 확인할 수 있다.

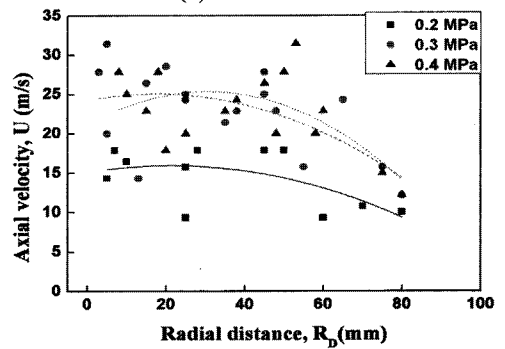
3.2 단일분무의 분무특성

3.2.1 분무액적의 측정방향 속도

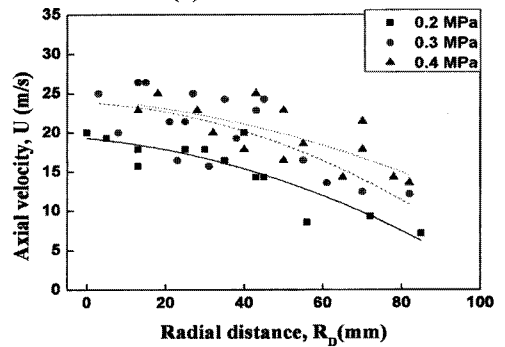
Fig. 5는 분사압력이 0.2, 0.3, 0.4 MPa인 각 조건에 대



(a) Z = 90mm



(b) Z = 100mm



(c) Z = 110mm

Fig. 5 Axial velocity with radial distance

하여 선단거리가 90, 100, 110 mm일때, 단일분무의 축방향 속도를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 축방향 속도의 전체적인 경향은 분무중심부에서 최대값을 가지며 분무외곽으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 분사압력 및 선단거리가 증가함에 따라 분무각이 증가하므로 분무되는 액적이 도달하는 반경방향 거리가 최대 85 mm까지 증가하는 것으로 나타났다. 분사압력이 증가함에 따라 축방향 속도는 증가하는 경향을 보였는데, 이는 분무 모멘텀이 분사압력의 증가에 따라 증가하기 때문이다. 또한 선단거리와 반경방향 거리

가 증가할수록 축방향 속도가 감소하였으며, 이것은 분무하류와 분무외각으로 갈수록 주위 공기의 저항 및 유입으로 인해 축방향 분무 모멘텀이 감소되기 때문이다. 선단거리 100 mm 및 분사압력 0.3 MPa인 조건에서 축방향 속도가 가장 높게 나타났다. 최고속도와 최저속도는 각각 31.43 m/s와 12.14 m/s로 나타났다.

3.2.2 분무액적의 크기

Fig. 6은 분사압력이 0.2, 0.3, 0.4 MPa인 각 조건에 대하여 선단거리가 90, 100, 110 mm일 때, 액적의 크기를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 분사압력이 증가할수록 그리고 분무중심에서 외곽으로 갈수록 액적의 크기는 감소하였다. 이는 분사압력이 높아질수록 회전운동량이 증가하면서 액적들 간의 충돌 횟수가 증가하기 때문이다. 또한 선단거리 및 분사압력이 증가할수록 입경분포가 균일하게 나타났다. 이는 분무중심에서 분무액적의 축방향 속도가 빠르게 때문에 액적간의 충돌이 상대적으로 적게 발생하기 때문인 것으로 사료된다. 단일분무에서 분무액적의 크기는 선단거리가 100 및 110 mm, 분사압력이 0.3, 0.4 MPa인 조건에서 입경의 분포가 균일하게 나타났다. 이와 같은 조건은 에칭공정에서 균일한 에칭성능을 나타내는데 유리할 것으로 사료된다. 최대입경과 최소입경은 각각 184.13, 180.45 μm 와 100.68, 93.14 μm 로 나타났다.

3.2.3 단일분무의 충격력

Fig. 7은 분사압력이 0.2, 0.3, 0.4 MPa인 각 조건에 대하여 선단거리가 90, 100, 110 mm일 때, 단일분무의 충격력 분포를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 분무중심에서 분무외곽으로 갈수록 충격력이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 분사압력이 증가할수록 그리고 선단거리가 감소할수록 충격력이 증가하는 경향을 보였다. 충격력은 식 (1)에서와 같이 입경과 속도의 함수로 표현된다. 특히 이 두 가지 분무특성 중에서 입경에 더 영향을 받기 때문에 충격력의 분포는 Fig. 6의 입경분포 결과와 유사한 경향을 보인다. 단일분무에서 충격력은 선단거리 100 및 110 mm인 조건에서 충격력이 균일한 분포를 보였으며, 분사압력이 0.3 MPa인 조건에서 상대적으로 높은 분포를 보였다. 또한 충격력은 분무중심에서 분무외곽으로 갈수록 작아지기 때문에, 분사압력 0.3 및 0.4 MPa, 선단거리 100 및 110 mm인 조건에서 충격력이 감소하는 분무 외곽영역을 적절하게 중첩한다면, 에칭성능 및 균일도를 높일 수 있을 것으로 사료된다. 분

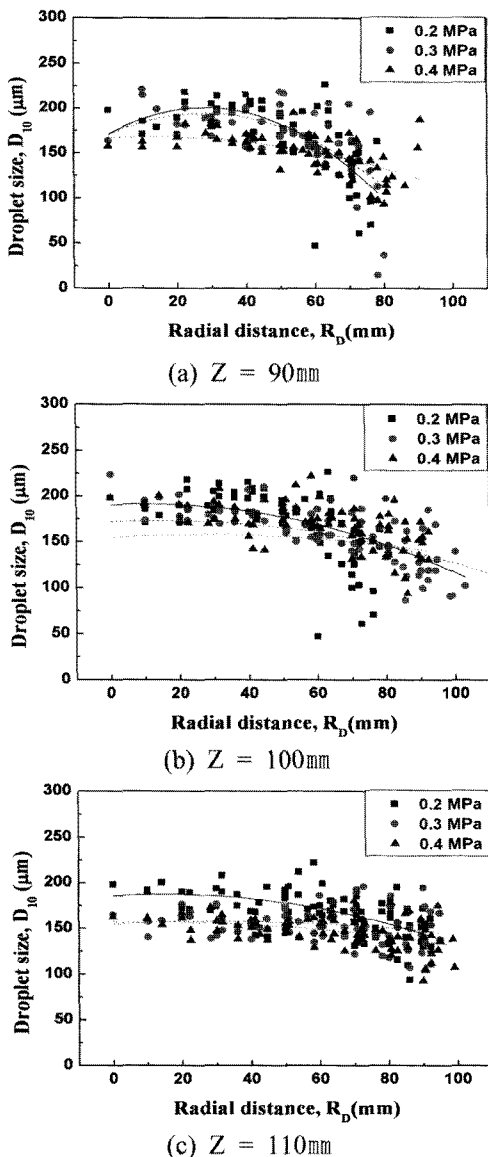
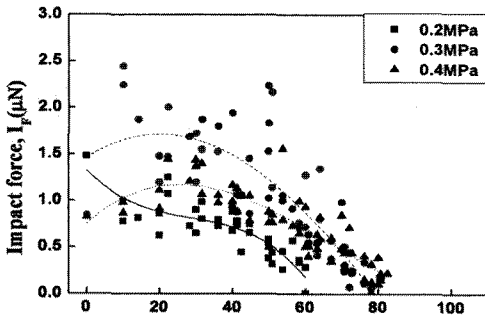
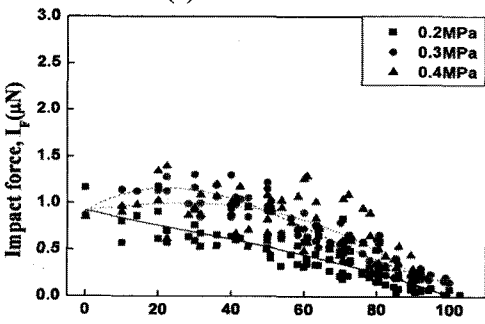


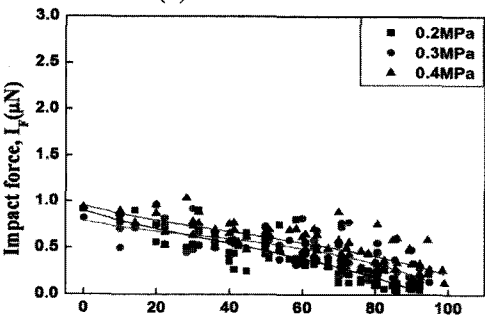
Fig. 6 Droplet size with radial distance



(a) Z = 90mm



(b) Z = 100mm



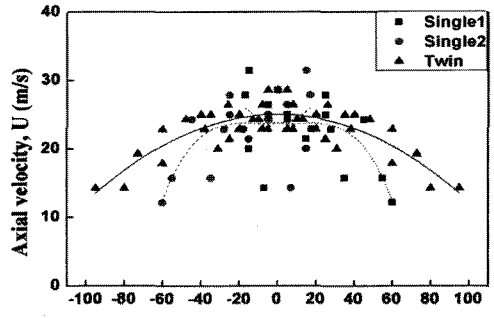
(c) Z = 110mm

Fig. 7 Impact force with radial distance

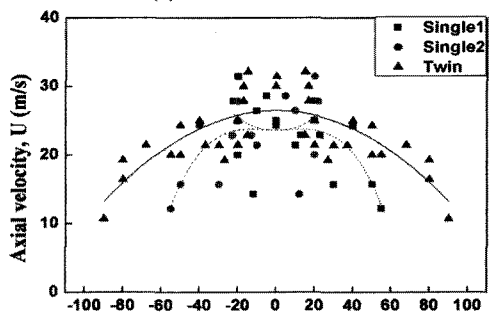
사압력 0.3, 0.4 MPa 및 선단거리 100, 110 mm 일 때 충격력의 최고와 최저는 각각 1.31, 1.03 μN 및 0.14, 0.10 μN 으로 나타났다.

3.3 이중분무의 분무특성

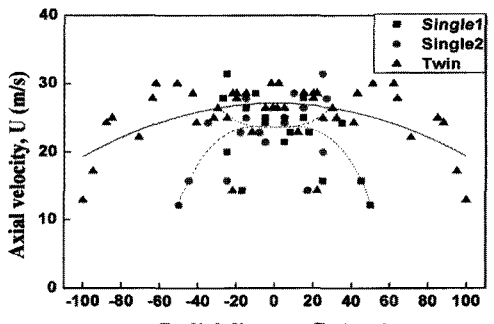
단일분무에서의 속도, 입경 및 충격력의 관계를 분석하여 그 결과를 바탕으로 단일분무가 중첩되는 효과를 예상하면 이중분무의 충격력은 단일분무의 경우보다 더 클 것으로 예상된다. 따라서 이중분무에서는 선단거리 및 분사압력을 각각 100 mm 및 0.3 MPa로 고정하고,



(a) Pitch = 40mm



(b) Pitch = 50mm



(c) Pitch = 60mm

Fig. 8 Axial velocity with radial distance

노즐 간격을 40, 50, 60 mm인 조건으로 실험을 수행하였다.

3.3.1 분무액적의 축 방향 속도

Fig. 8은 분사압력이 0.3 MPa, 선단거리가 100 mm인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일 때, 이중분무의 축방향 속도를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 이중분무의 축방향 속도를 단일분무와 비교하면 전체적으로 유속이 증가하는 경향을 보였다. 또한 축방향 속도의 전체적인 경향은 중첩영역의 중심부에서 최대값을

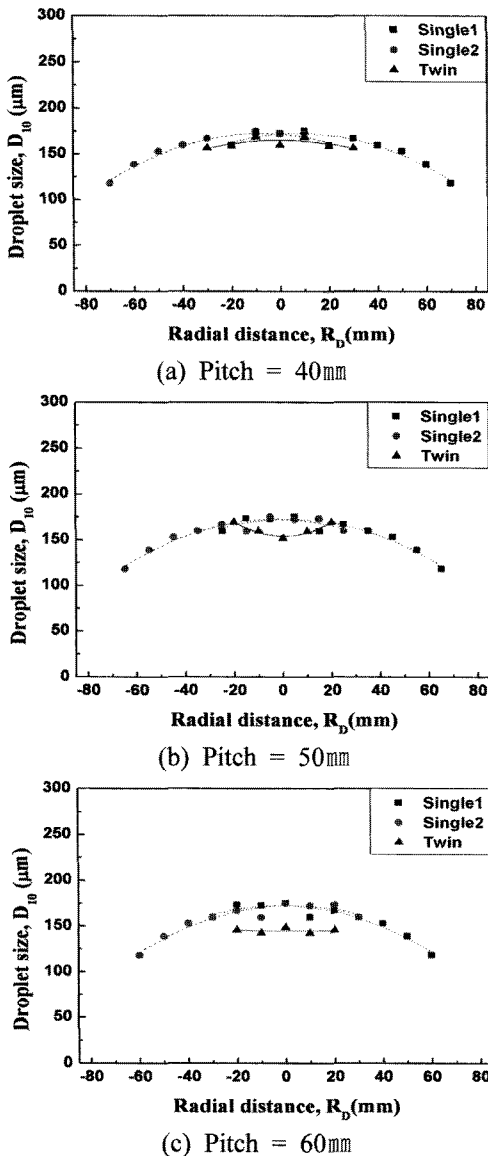


Fig. 9 Droplet size with radial distance

가지고 분무외곽으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 이중분무에서 노즐피치가 증가할수록 분무중심으로부터 더 넓은 영역에 걸쳐 높은 속도분포를 보였다. 이는 노즐피치가 증가할수록 중첩영역 중심과 단일분무 중심의 거리가 멀어지기 때문에 더 넓은 영역에 걸쳐 높은 속도분포가 나타나는 것으로 사료된다. 특히 중첩영역 중심에서는 분무 액적들의 충돌로 인해 반경방향 운동량의 손실로 대부분의 분무액적들이 축방향으로 낙하하며, 중첩영역의 경계로 갈수록 단일분무의 영향을 받게

되고 중첩영역을 벗어나는 순간부터는 단일분무의 특성을 나타낼 것이다. 따라서 노즐피치가 60 mm 조건에서 단일분무의 유속보다 더 넓은 영역에 걸쳐 속도분포가 높게 나타나는 것으로 보아 예칭성능 측면에서 유리할 것으로 사료된다. 분사압력 0.3 MPa, 선단거리 100 mm 인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일 때, 모든 노즐피치 조건에서 이중분무의 축방향 속도가 단일분무의 축방향 속도보다 전체 평균의 축방향 속도가 약 8.61, 15.54, 13.45% 만큼 증가 하였다.

3.3.2 분무액적의 크기

Fig. 9는 분사압력이 0.3 MPa, 선단거리가 100 mm인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일때, 이중분무의 입경을 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 이중분무의 입경을 단일분무와 비교하면 전체적으로 모든 노즐피치 조건에서 입경이 감소하는 경향을 보였다. 이는 이중분무의 중첩영역에서 분무액적의 충돌로 인한 2차 분열로 인하여 나타나는 현상이다. 또한 입경의 전체적인 경향은 중첩영역의 중심부에서 중첩영역의 외곽부에서 보다 다소 입경이 작게 나타났다. 이중분무에서 노즐피치가 증가할수록 분무중심에서 외곽영역에 이르는 입경분포가 감소하는 경향을 보였다. 노즐피치가 60 mm 인 조건에서는 상대적으로 낮은 입경을 가지기 때문에 균일도 측면에서 유리할 것으로 사료된다. 분사압력 0.3 MPa, 선단거리 100 mm 및 노즐피치 50, 60 mm 일 때 입경의 최고와 최저는 각각 169.49, 148.56 μm 및 151.96, 142.58 μm로 나타났다. 분사압력 0.3 MPa, 선단거리 100 mm인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm 일 때, 노즐피치 40 및 50 mm조건에서는 이중분무의 입경이 단일분무의 입경보다 약 3.99, 4.48% 만큼 증가 하였고 노즐 피치 60 mm인 조건에서는 6.65% 만큼 감소하였다.

3.3.3 이중분무의 충격력

Fig. 10은 분사압력이 0.3 MPa, 선단거리가 100 mm 인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일 때, 이중분무에서 중첩영역의 충격력을 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 이중분무의 충격력을 단일분무와 비교하면 전체적으로 모든 노즐피치 조건에서 충격력이 월등히 증가하는 경향을 보였다. 또한 충격력의 전체적인 경향은 중첩 영역의 중심부에서 다소 높게 나타났다. 이는 중첩영역 중심에서 축방향 속도가 큰 액적들이 존재하기 때문이다. 이중분무에서 노즐피치가 증가할수록 중

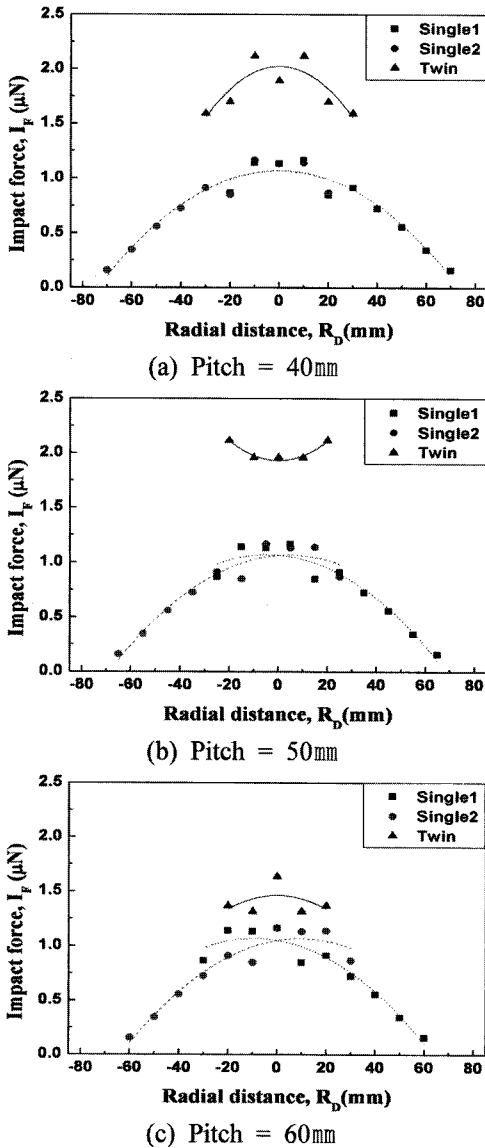


Fig. 10 Impact force with radial distance

접영역의 중심에서 중첩영역의 경계에 이르는 충격력의 분포가 감소하는 경향을 보였으며, 충격력의 분포가 균일해지는 경향을 보였다. 따라서 노즐피치 50 및 60 mm 인 조건에서 에칭성능과 균일도 측면에서 유리할 것으로 사료된다. 또한 에칭계수에 영향을 미치는 에칭 효과와 언더컷은 분무 액적들의 입경, 축방향 속도, 충격력과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 사료된다⁽²³⁾. 축방향 속도가 증가할수록 에칭 계수는 증가하고 입경이 작을수록 에칭 균일도가 증가하며, 충격력이 증가할수록 에칭계수도 증가하는 것으로 사료된다. 분사압력 0.3 MPa,

선단거리 100 mm 및 노즐피치 40, 50, 60 mm 일 때 충격력의 최고와 최저는 각각 2.12, 2.12, 1.64 μN 및 1.59, 1.96, 1.32 μN 으로 나타났다. 분사압력 0.3 MPa, 선단거리 100 mm인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일 때, 모든 노즐피치 조건에서 이중분무의 충격력이 단일분무의 충격력 보다 전체 평균의 충격력이 약 63.29, 67.02, 52.41% 만큼 증가 하였다.

3.4 분무특성과 에칭특성 관계

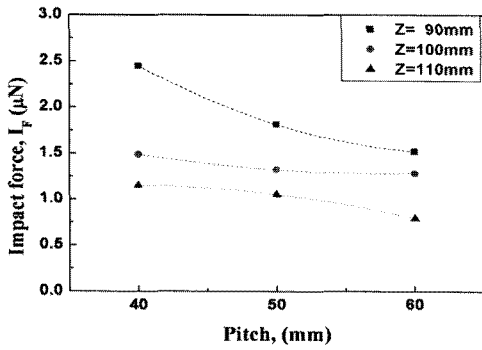
에칭특성과 분무특성에 관한 선행연구⁽¹¹⁻¹³⁾에 의하면, 에칭계수와 큰 상관관계를 가지는 분무특성에는 축방향 속도와 입경으로 표현되는 충격력이 있는데, 충격력은 동일한 분사압력 및 선단거리 조건에서 노즐피치 간격에 따라 에칭성능에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한, 에칭깊이가 증가하면 축방향 속도가 증가하고 액적의 입경이 감소하여 충격력은 증가한다는 결론을 얻었다.

Fig. 11은 각 분사압력에서 노즐피치에 따른 충격력 변화를 나타낸 것이다. 선단거리가 증가할수록 모든 노즐피치 조건에서 충격력이 감소하였으며, 노즐피치가 증가할수록 충격력이 감소하는 것으로 나타났다. 노즐피치가 증가하면서 액적의 입경이 감소하므로 그에 따른 충격력이 감소하는 것으로 사료된다.

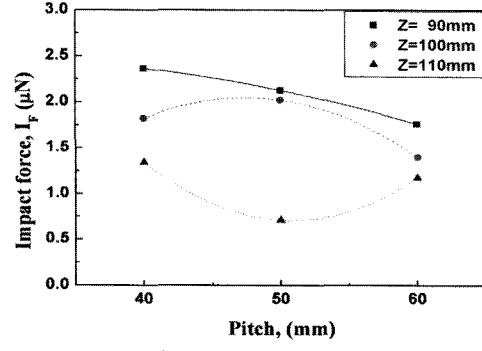
Fig. 11(a)는 분사압력 0.2 MPa인 조건에서 선단거리 변화에 따른 충격력의 분포를 나타낸다. 선단거리가 증가할수록 모든 노즐피치 조건에서 충격력이 감소하였으며, 노즐피치가 증가할수록 충격력이 감소하는 것으로 나타났다. 한편 선단거리 100 mm지점에는 노즐피치 변화에 따른 충격력의 변화가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 선단거리 100 mm지점에서 균일한 입경분포가 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 11(b)는 분사압력 0.3 MPa인 조건에서 선단거리 변화에 따른 충격력의 분포를 나타낸다. 대체적으로 선단거리가 증가할수록 모든 노즐피치 조건에서 충격력이 감소하였으며, 선단거리 100 mm지점일 때 충격력이 노즐피치 40 및 60 mm지점과 달리 노즐피치 50 mm지점에서는 충격력이 높게 나타났다. 이는 노즐피치 50 mm 지점에서 40 및 60 mm인 조건에서 보다 축방향 속도가 다소 높게 나타나면서 충격력이 높게 나타난 것으로 사료된다.

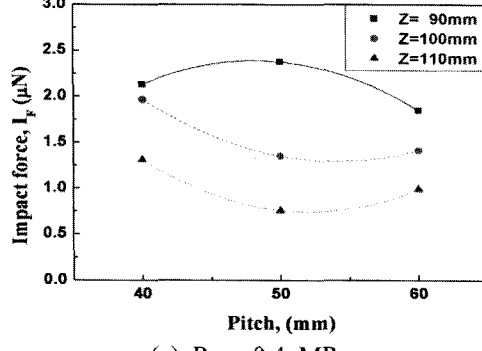
Fig. 11(c)는 분사압력 0.4 MPa인 조건에서 선단거리 변화에 따른 충격력의 분포를 나타낸다. 대체적으로 선단거리가 증가할수록 모든 노즐피치 조건에서 충격력이



(a) $P_i = 0.2 \text{ MPa}$



(b) $P_i = 0.3 \text{ MPa}$



(c) $P_i = 0.4 \text{ MPa}$

Fig. 11 Impact force with radial distance

감소하였다. 노즐피치 50 mm 및 선단거리 90 mm인 조건에서 충격력이 가장 높게 나타나는데, 이는 노즐피치 50 mm지점에서 40 및 60 mm인 조건에서 보다 축방향 속도가 다소 높게 나타나면서 충격력이 높게 나타난 것으로 사료된다.

충격력이 증가할수록 에칭깊이는 증가할 것이고, 축방향 속도가 증가할수록 에칭깊이는 증가하는 것으로 예측된다. 그러므로 사용 노즐의 운전압력 및 노즐피치의 최적 설정을 통하여 높은 에칭인자를 구현할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 이중분무의 중첩영역에 대한 충격력을 평가하여 에칭공정에서의 성능을 간접적으로 예측하고자 실험적인 연구를 수행하였으며, 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 분사압력이 증가함에 따라 분무 각은 선형적으로 증가하나 그 증가량은 조금씩 둔화되어 수렴 되어가는 형태로 나타난다.
- 2) 단일분무에서 분사압력이 증가할수록 속도 및 충격력은 증가하였으며, 선단거리가 증가할수록 속도 및 충격력은 감소하였다. 또한, 분사압력이 증가할수록 입경은 감소하였으며, 선단거리가 증가할수록 균일한 분포를 보였다.
- 3) 이중분무에서 노즐피치가 60 mm인 조건에서 단일분무의 유속보다 더 넓은 영역에 걸쳐 속도분포가 높아 에칭성능 측면에서 유리할 것으로 예측된다.
- 4) 이중분무에서 노즐피치가 60 mm인 조건에서는 상대적으로 낮은 입경을 가지기 때문에 균일도 측면에서 유리할 것으로 예측된다.
- 5) 이중분무의 충격력을 단일분무와 비교하면 모든 노즐피치 조건에서 충격력이 크게 증가하였다. 분사압력 0.3 MPa, 선단거리 100 mm인 조건에서 노즐피치가 40, 50 및 60 mm일 때, 전체 평균의 충격력이 약 63.29, 67.02, 52.41% 만큼 증가 하였다.

후 기

이 과정은 부산대학교 교수국외장기과건지원비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) K. Abate, "Photochemical etching of metals", Metal Finishing, Vol. 98, No. 6, pp. 414~417, 2000.
- (2) K. B. Sundarama, R. E. Sah, H. Baumann, K. Balachandran and R. M. Todt, "Wet etching studies of silicon nitride thin films deposited by electron cyclotron resonance (ECR) plasma enhanced chemical vapor deposition", Microelectronic Engineering, Vol. 70, pp. 109~114, 2003.
- (3) D. M. Allen, "The principles and practice of photo-

- chemical machining and photoetching”, Adam Hilger, Bristol, 1986.
- (4) H. Takei, H. Kawamura and Y. Ohta, “Development of a new HDP source for LCD etching process”, Society for Information Display 98 DIGEST, 1998.
- (5) 김영진, 정지원, 최경민, 김덕줄, “노즐의 스웰 러각과 형상비가 이중분무의 평균속도와 입 경의 크기에 미치는 영향”, 대한기계학회 논문집 B권, Vol. 28, No. 11, pp. 1459~1466, 2004.
- (6) 조대진, 윤석주, 최태민, “이중분무 교차영역에서의 액적유동특성의 통계학적 분석에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, Vol. 28, No. 3, pp. 635~644, 1994.
- (7) 정지원, 김영진, 김덕줄, “이중분무에서 분무 특성과 에칭특성의 상호관계”, 대한기계학회 논문집 B권, Vol. 28, No. 4, pp. 449~455, 2004.
- (8) 정지원, 김덕줄, “습식 에칭공정에서 노즐 형 상에 따른 분무특성 분석을 통한 에칭특성의 향상에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 28, No. 7, pp. 842~849, 2004.
- (9) A. J. Yule and I. R. Widger, “Swirl atomizers operating at high water pressure”, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 38, No. 8-9, pp. 981~999, 1996.
- (10) 정영호, 김호영, 이동조, “스웰 노즐의 구조 변화가 분무 특성에 미치는 영향”, 제 38회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2009, pp. 95~100.
- (11) 정지원, 차건중, 김덕줄, “이중분무의 증착영 역과 단일분무에서 액적의 거동 특성”, 대 한기계학회논문집 B권, Vol. 24, No. 10, pp. 1300~1308, 2000.
- (12) 정지원, 김덕줄, “미세 가공 시스템에서 분무 특성이 에칭특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, Vol. 28, No. 1, pp. 109~117, 2004.
- (13) 정홍철, 김동욱, 최경민, 김덕줄, “산업용 에칭노즐을 이용한 Invar합금판의 식각에 분사 각과 압력이 미치는 영향”, 한국정밀공학회 지, Vol. 23, No. 8, pp. 47~53, 2006.