미세 가공 시스템에서 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향에 관한 연구

정 지 원* · 김 덕 줄†

(2003년 8월 20일 접수, 2003년 12월 12일 심사완료)

A Study on Effect of Spray Characteristics on Etching Characteristics in Micro Fabrication System

Ji-Won Jung and Duck-Jool Kim

Key Words: Spray Characteristics(분무특성), Etching Characteristics(에칭특성), Etching Rate(에칭률), Etching Factor(에칭계수), PDA(위상도플러 입자분석기)

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of the spray characteristics on the etching characteristics for the optimization of etching process in the micro fabrication industry. The etching characteristics such as etching rate and etching factor were investigated under different etching conditions. To compare with the etching characteristic, the spray characteristics such as droplet size and velocity were measured by PDA system. The etching rate was increased in case of high spray pressure and in the region of spray center. The etching factor was increased with decrease in the distance from nozzle tip and increase in the etchant temperature. It was found that the spray characteristics were correlated with the etching characteristics.

1. 서 론

최근 제품의 초소형화, 고집적화, 고정세화를 요구하는 수요가 급증하면서 관심이 고조되고 있는 초정밀 미세가공 기술은 여러 산업 분야 즉 반도체, 통신, 광학, 전자부품, 초소형정밀기계 등의 분야에서 미세 부품가공, 미세가공이 필요한 공정 등에 응용되고 있으며 점차 그 응용분야는 확대되어 가고 있다. 특히 반도체 및 전자부품 분야에서는 초정밀 미세가공기술로 포토에칭기술을 이용하고 있으며 포토에칭기술은 사진기법을 이용하는 포토공정과 에칭공정을 합한 기술로 가공하고자 하는 물체에 감광성수지(photoresist)를 코팅하고 특정패턴을 적절한 파장의 빛과 마스크를 이용하여 정확한 위치와 정확한 크기로 전사한 후 현상하고 현상에 의해 노출된 부분을 습식에칭 또는 건식에칭으로 제거하여 제품이나 형상을 가공하는 기술이다. 포토에칭기술 중 핵심기술인 습식에칭기술은 분무에칭기술로서 에칭용액

기호설명

d_i : 개별 액적 직경
D : 에칭깊이
D_{32} : 자우터 평균 직경(SMD)
P_i : 분사압력
r : 상관계수
U_i : 개별 액적 축방향 속도
W_1 : 패턴 설계폭
W_2 : 횡방향 에칭폭
Z : 선단거리

* 회원, 부산대학교 기계기술연구소
† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부
E-mail : djkim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-3072 FAX : (051)510-9598

을 가공물체에 분사시켜 작동유체의 분사속도 및 충격력에 의해 가공물체에 고정세의 패턴을 형성시키는 것이다. 따라서 분사되는 액적들의 속도, 크기, 충격력 등의 분무특성은 미세가공 제품의 품질 및 생산성에 중요한 인자가 되며, 이는 곧 에칭시스템의 공정 특성 및 조건에 좌우된다. 이들 에칭시스템의 공정 특성 및 조건들은 매우 밀접한 상호 연관성을 가지고 있으므로 공정의 최적화를 위해서는 이러한 분무특성과 에칭특성의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해가 필요하다. 액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구[1~6]는 다양한 분야에서 응용되고 있으며 이중분무의 중첩영역에서의 액적거동 특성 및 사용유체의 물성치 변화에 따른 분무특성에 관한 연구[7~9]도 수행되었다. 그러나 현재까지 에칭기술 및 에칭시스템에 관한 연구[10~13]는 부족한 상태이며, 특히 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 단계에 있다. 또한 생산현장에서는 아직도 에칭기술에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 에칭특성인 에칭율과 에칭계수를 에칭조건의 변화에 따라 구하고 노즐, 분사압력, 선단거리, 작동유체의 물성치 변화에 따른 분무특성인 속도, 액적크기, 충격력을 PDA(Phase Doppler Anemometer) 시스템을 사용하여 분석하였으며 에칭특성과의 상호 관련성을 조사하였다. 이 결과를 토대로 미세 가공산업에서 에칭공정의 근본적인 이해와 최적화에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 에칭특성 분석을 위한 실험장치의 구성은 설계 시스템, 정면 및 코팅 시스템, 노광 시스템, 현상 시스템, 에칭 시스템, 박막 및 수세 시스템으로 구분된다.

Fig. 1은 분무특성 분석을 위한 실험 장치를 나타낸다. 실험장치의 구성은 분사 시스템, PDA 시스템으로 구성된다. 분사시스템은 분사노즐, 압력계, 레귤레이터, 대형수조, 정수필터, 분사압력 조절을 위한 밸브, 온도조절의 정확성을 위한 냉동기 등으로 구성되어 있다. PDA 시스템은 레이저, 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원 이송장치, 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 분사시스템은 펌프와 대형 수조를 배관으로 연결하여 순환식으로 작동유체를 공급하도록 설치하였다. PDA 시스템에서 레이져는 Ar-ion 레이져(최대출력 5W)가 사용되었고 실험시 사용출력은 2W로 하였으며 초점거리는 송광부와 수광부 모두 400mm로 하였다.

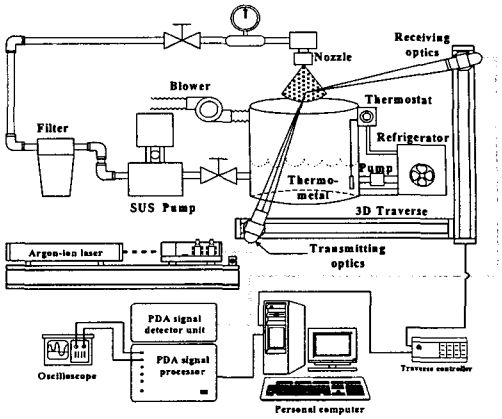

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for spray characteristics analysis

Table 1 Specifications of nozzle

Nozzle	A	B
Nozzle type	Pressure-swirl	
Length/diameter ratio of orifice	0.88	0.93
Length/diameter ratio of swirl chamber	1.84	1.59
Swirler vane angle (°)	32	28

Table 1은 본 연구에서 사용된 노즐의 제원을 나타내고 있다.

2.2 실험방법

에칭특성을 측정하기 위해 우선적으로 에칭 장치내에서 철판 시편을 고정시킨 후 분사노즐을 통해 염화 제2철 용액을 수직 하방향으로 분사시키고 세정 및 건조 후 마이크로미터를 이용하여 잔존하는 시편의 두께를 측정하였다. 또한 마스터 패턴을 제작하고 철판표면을 탈지 및 세정한 후에 감광성수지를 도포하고 건조시켰다. 제작된 마스터 패턴을 통하여 자외선을 조사하고 감광막에 일정형상을 인쇄한 다음 미노광된 부분의 감

광막을 물로서 제거하였고 잔류된 감광막에 강도를 부여하기 위하여 경막공정을 거친 후에 현상이 완료된 철판에 염화 제2철 용액을 분사하여 형상을 가공하는 에칭공정을 실시하였다. 에칭이 끝난 제품의 감광막을 박리공정을 통해 제거한 후 3차원 광학 측정 장치를 사용하여 에칭특성을 측정하였다.

Table 2는 에칭특성 측정에 대한 실험조건을 나타내고 있다. 분무특성 측정은 예비실험을 통해 분무의 대칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 분무특성을 측정하였다. 또한 분무 축방향으로 150, 170, 200 mm의 횡단면에 대해 분무중심으로부터 반경방향으로 분무액적이 도달하는 위치까지 측정하였으며 분사압력은 2, 4 kgf/㎠ (=0.2, 0.4㎫)로 하였다. 액적의 크기는 SMD(Sauter Mean Diameter)인 D_{32} 로 나타내었다. 작동유체는 상온의 수돗물로서 실험동안 일정한 온도로 유지하여 사용하였으며, 측정값은 측정체적을 통과한 5000개 액적의 평균값으로 하였다. 또한 실제 산업현장에서는 에칭용액의 온도를 변화시키면서 제품을 생산하고 있으므로 에칭 특성과 분무특성을 비교하기 위해서는 상온수의 물성치를 변화시켜 분무특성을 분석하는 것이 필요하다. 이러한 온도변화에 따라 변화되는 에칭용액의 물성치는 점도와 밀도이며 실제 에칭용액의 점도와 밀도에 근접한 유사유체를 제작하여 분무특성을 분석하였다.

Table 3에 본 실험에 사용한 용액의 물성치를 나타내었다. 사용유체는 순수한 물(W100)과 물에 염화나트륨과 설탕 및 액상전분을 첨가해서 점도 및 밀도를 변화시킨 세 가지의 용액들(W73, W59, W50)을 사용하였다.

Table 2 Experimental conditions for etching

Material	Steel (t=0.12 mm)
Etchant	Ferric chloride solution
Temp.(℃)	45, 55, 65, 70
Injection pressure(㎫)	0.2, 0.3 ,0.4
Distance from nozzle tip(mm)	150, 170, 200

Table 3 Properties of test fluids

properties \ Fluids	W_{100}	W_{73}	W_{59}	W_{50}
Kinematic viscosity, ν(mm²/s)	0.98	2.51	5.1	7.52
Density, ρ(kg/m³)	998	1105	1210	1300

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에칭률과 분무특성 비교

Fig. 2는 두께 0.12 mm의 철판시편에 노즐A와 B에 대하여 분사압력을 각각 2 kgf/㎠, 4 kgf/㎠으로 하여 선단거리 200 mm에서 수직 하방향으로 5분간 에칭한 후 노즐 중심축과 만나는 철판시편의 지점을 기준으로 하여 반경방향으로 에칭률의 변화를 나타낸 것이다. 에칭률은 시편을 에칭 했을 때 단위시간당 시편의 수직방향으로의 에칭된 깊이를 나타낸다. 에칭률은 공정에서 생산성의 척도가 되며 에칭률이 클수록 생산성이 향상된다는 것을 의미하며 아래의 식으로 표현된다.

$$\text{Etching rate} = \text{Etching depth} / \text{Time} \qquad (1)$$

A노즐의 경우 각각의 분사압력에서 B노즐보다 에칭률이 더 크고 각각의 노즐에서는 분사압력이 클수록 에칭률이 커짐을 알 수 있었다. 또한 반경방향으로 갈수록 에칭률이 작아짐을 알 수 있었다. 분사압력이 클수록 그리고 분무중심영역에서 에칭률이 큰 이유는 노즐로부터 분사되는 에칭용액의 분무주류와 분열되는 액적들의 운동량이 크므로 철판시편에 미치는 에칭효과가 커지기 때문으로 사료된다. 또한 에칭률에 영향을 미치는 에칭효과는 분무액적들의 특성인 유속, 액적크기, 충격력과 밀접한 상관관계가 있다고 사료된다.

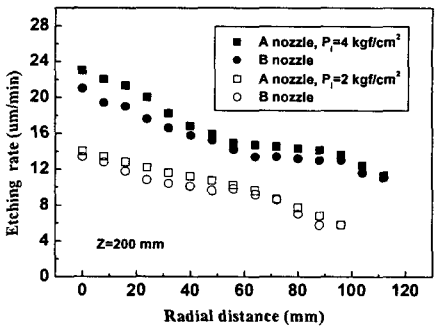

Fig. 2 Etching rate with radial distance

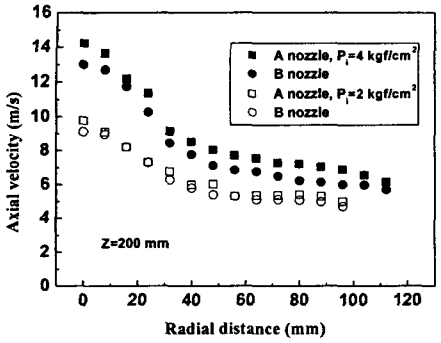

Fig. 3 Axial velocity with radial distance

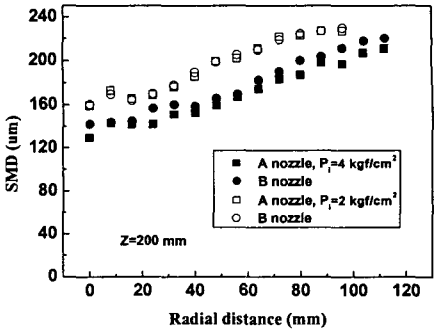

Fig. 4 SMD with radial distance

Fig. 3은 선단거리 200 mm에서 노즐과 분사압력에 따른 축방향 평균속도를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. A,B 노즐 모두 분사압력이 증가함에 따라 축방향 평균속도는 증가하였다. 이것은 분무운동량이 분사압력의 증가에 따라 증가하기 때문이다. 또한 반경방향 거리가 증가할수록 축방향 평균속도가 감소하고 있으며 이것은 분무외각으로 갈수록 주위 공기의 저항 및 유입으로 축방향 분무모멘텀이 감소되기 때문으로 사료된다. 또한 A노즐의 축방향 평균속도가 각각의 분사압력에서 B노즐에 비해 크게 나타나고 있는데 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 노즐 오리피스 지름에 대한 길이의 비인 노즐 형상비가 작고 스월러 각도가 커서 수직방향으로 더욱 기울어져 있기 때문으로 사료된다.

Fig. 4는 선단거리 200 mm에서 노즐과 분사압력에 따른 액적크기를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. A,B노즐 모두 분사압력이 증가할수록 액적크기는 감소되었다. 또한 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 액적크기가 증가하고 있는데 이것은 액적들이 분무중심에서는 빠른 속도로 낙하하기 때문에 주위 공기와의 상대속도가 커지고 액적들 상호간의 충돌로 인한 분열 때문에 미립화가 촉진되며 분무외각에서는 상대적으로 분무중심보다 작은 상대속도와 액적들간의 상호작용에 의한 합체현상이 발생하기 때문에 액적들의 크기가 증가하는 것으로 사료된다. 또한 A노즐의 액적크기가 각각의 분사압력에서 B노즐에 비해 상대적으로 작은 것을 알 수 있었다.이것은 노즐 형상비의 차이 때문으로 사료된다.

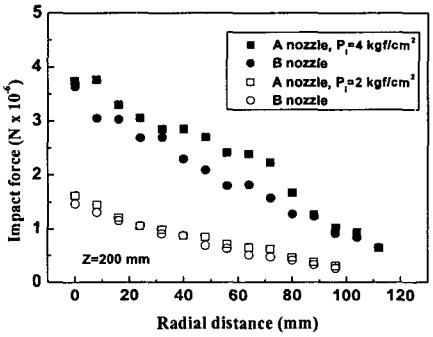

Fig. 5 Impact force with radial distance

Fig. 5는 선단거리 200mm에서 노즐과 분사압력에 따른 액적의 충격력을 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 충격력은 액적을 구형이라 가정했을 때 액적크기를 이용하여 구한 액적의 질량에 축방향 속도를 곱하여 샘플링 시간으로 나눈 값으로 정의하였으며 아래의 식으로 표현된다.

Impact force =

$$\frac{\sum_{i=1}^{k} \rho V_i U_i}{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \frac{\pi}{6} d_i^3 \rho U_i}{\Delta t} \qquad (2)$$

여기서 ρ는 액적밀도, d_i는 개별 액적 직경, Ui는 개별 액적 축방향 속도, Δt는 샘플링 시간을 나타낸다. 두 노즐 모두 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 충격력이 감소하는 경향을 나타내

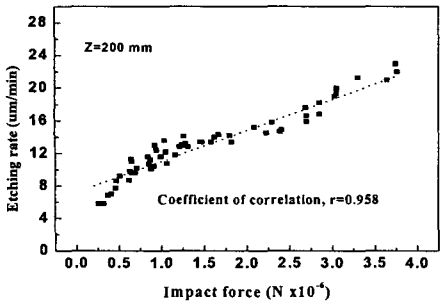

Fig. 6 Correlation between etching rate and impact force

고 있으며 또한 각각의 노즐에서는 분사압력이 증가할수록 충격력이 증가하였다. 또한 A노즐이 각각의 분사압력에서 B노즐보다 충격력이 크게 나타났다. 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 상대적으로 축방향 속도가 크고 또한 액적의 수밀도가 커서 단위시간당 측정체적을 통과하는 액적의 개수인 액적 취득율이 증가하여 샘플링시간이 감소하기 때문으로 사료된다. 이상을 종합하여 볼 때 에칭특성인 에칭률과 분무특성과의 관계를 분석하면 분사압력이 4 kgf/㎠에서는 두 노즐간의 에칭률, 축방향 평균속도, 액적크기 및 충격력의 차이가 2 kgf/㎠에서보다 큰 경향이었다. 또한 에칭률은 액적들의 축방향 평균속도와 충격력이 크고 액적의 크기가 작은 경우에 크게 나타났으며, 상관분석을 통해 에칭률과 분무특성과의 상관계수를 구한 결과 에칭률과 가장 큰 상관관계를 가지는 것은 충격력이었으며 그 상관계수는 0.958이었다.

Fig. 6은 에칭률과 충격력과의 상관관계를 대표적으로 나타내고 있다. 이러한 에칭률이 클수록 산업현장에서는 생산성의 향상을 도모할 수 있다.

3.2 에칭계수와 분무특성 비교

3.2.1 선단거리에 따른 에칭계수

Fig. 7에 에칭계수의 개념을 설명하기 위하여 편면 에칭된 시료의 개략도를 나타내고 있다. 실제 에칭에서는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 코팅된 감광막이 현상되어 시료가 노출된 부분에만 에칭

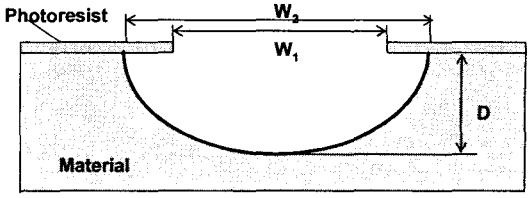

Fig. 7 Diagram of etched material

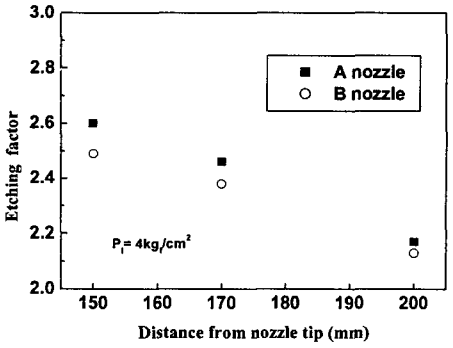

Fig. 8 Etching factor with distance from nozzle tip

되는 것이 아니라 감광막이 코팅된 아래 부분까지 에칭용액이 침투하여 시료를 에칭하는 현상이 발생하는데, 이는 에칭공정에서 에칭이 진행되는 동안 시료의 깊이방향으로만 에칭이 진행되는 것이 아니라 시료의 깊이방향에 수직인 횡방향으로도 에칭이 진행되는 것을 의미하고 이러한 현상을 언더컷(undercut) 또는 사이드(side) 에칭이라고 한다. 이러한 언더컷 현상으로 인해 설계된 패턴의 치수보다 크게 에칭이 되며, 최종적으로 구현하고자 하는 미세선폭 또는 가공형상의 치수가 줄어들게 된다. 따라서 정밀가공을 위해서는 언더컷이 작을수록 바람직하다. 에칭특성으로 언더컷에 대한 에칭된 깊이를 나타내며 아래의 식으로 표현된다.

$$\text{Etching factor} = \text{Etching depth} / \text{Undercut} = 2D/(W_2-W_1) \quad (3)$$

여기서 D는 에칭깊이를 나타내며 W_1은 패턴상에 설계된 폭이고 W_2은 횡방향으로 에칭된 폭이다. 에칭계수가 클수록 언더컷이 작고 따라서 정밀가공에 바람직하다고 할 수 있다.

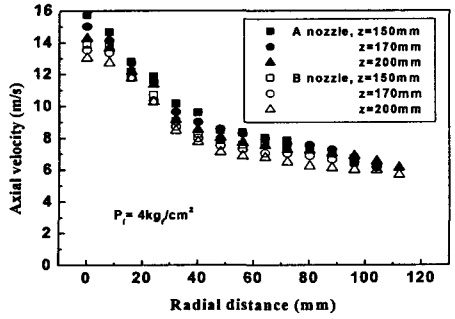

Fig. 9 Axial velocity with distance from nozzle tip

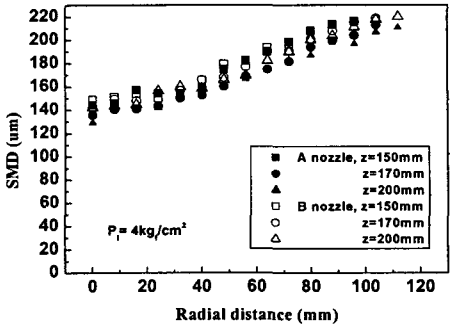

Fig. 10 SMD with distance from nozzle tip

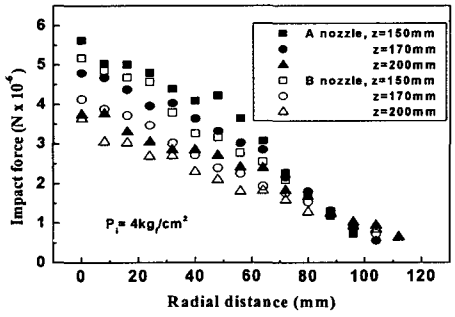

Fig. 11 Impact force with distance from nozzle tip

Fig. 8은 패턴제작, 정면, 코팅, 노광, 현상공정을 거친 철판시편에 노즐A와 B에 대하여 분사압력을 4 kgf/㎠으로 하여 선단거리 150,170,200 mm에서 시료의 편면에 대해서 에칭한 후 패턴상에 설계된 폭과 에칭깊이 및 횡방향 에칭폭을 측정하여 계산한 에칭계수를 나타내고 있다. 두 노즐 모두 선단거리가 감소할수록 에칭계수가 증가 하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 선단거리가 감소할수록 노즐에서 분사되는 에칭용액의 분열된 액적들의 운동량이 크기 때문에 철판시편에 미치는 에칭효과가 커지고 이로 인해 에칭된 후의 에칭용액이 에칭된 부분에 고여 있지 않고 밖으로 배출되는 유동이 원활해질 수 있고 에칭되는 부분에는 지속적으로 새로운 에칭용액이 공급되므로 횡방향 에칭보다는 깊이방향으로의 에칭이 커지기 때문으로 사료된다. 또한 에칭공정에서 에칭이 진행되는 동안 처음에는 깊이 방향으로만 에칭이 진행되다가 일정시간 후에는 횡방향으로 에칭이 진행되는데 선단거리가 감소할수록 에칭시간이 감소하게 되므로 횡방향으로의 에칭시간이 감소하게 되고 따라서 언더컷이 줄어들 기 때문으로 사료된다. 또한 에칭계수에 영향을 미치는 에칭효과와 언더컷은 분무액적들의 유속, 액적크기, 충격력과 밀접한 상관관계가 있다고 사료된다.

Fig. 9는 분사압력이 4 kgf/㎠일 때 노즐과 선단거리에 따른 축방향 평균속도를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. A,B 노즐 모두 선단거리와 반경방향 거리가 증가함에 따라 축방향 평균속도가 감소하는 경향이었다. 이것은 분무하류와 분무외각으로 갈수록 주위 공기의 저항 및 유입이 강하게 작용하여 분무운동량이 감소되기 때문으로 사료된다. 또한 각각의 선단거리에 있어서 A노즐의 축방향 평균속도가 B노즐에 비해 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 분사압력이 4kgf/㎠일 때 노즐과 선단거리에 따른 액적크기를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. 각각의 노즐의 경우에 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 액적크기가 증가하는 경향이며 선단거리가 증가할수록 액적크기는 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이것은 분무하류로 갈수록 액적들이 주위 공기의 저항 및 유입과 액적들 상호간의 충돌로 인한 2차 미립화 효과가 증가되기 때문으로 사료된다. 또한 각각의 선단거리에 있어서 A노즐의 액적크기가 B노즐에 비해 상대적으로 작은 것을 알 수 있었다.

Fig. 11은 분사압력이 4 kgf/㎠일 때 노즐과 선단거리에 따른 액적의 충격력을 반경방향 거리에

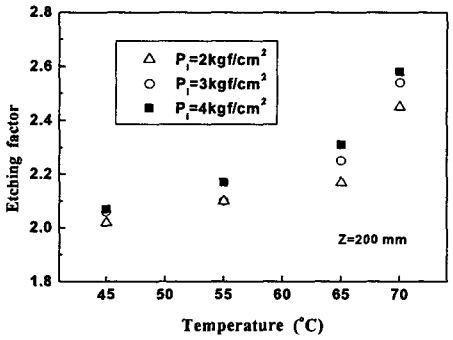

Fig. 12 Etching factor with temperature

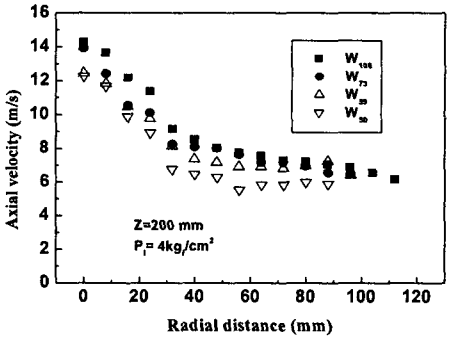

Fig. 13 Axial velocity with properties of test fluid

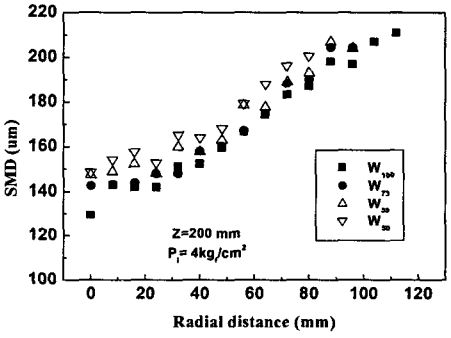

Fig. 14 SMD with properties of test fluid

따라 나타낸 것이다. 각각의 노즐에서 선단거리가 증가할수록 충격력이 감소하였고 A노즐이 각각의 선단거리에서 B노즐보다 충격력이 큰 경향이었다. 이것은 선단거리가 증가할수록 축방향 평균속도와 액적 취득율이 감소하고 A노즐이 B노즐에 비해 상대적으로 축방향 평균속도와 액적 취득율이 크기 때문이다. 에칭특성인 에칭계수와 분무특성과의 관계를 분석하면 액적들의 축방향 평균속도, 충격력 및 액적의 크기가 큰 경우에 에칭계수가 크게 나타났으며 액적의 크기 면에서는 에칭률과는 상반되는 결과였다. 이것은 동일 선단거리에서는 액적의 크기가 작은 경우에 에칭률이 크므로 에칭계수가 높을 것이라고 예상할 수 있으나 선단거리가 변화되면서 에칭계수는 액적크기보다는 상대적으로 축방향 평균속도와 충격력에 더 많은 영향을 받기 때문으로 사료된다. 또한 에칭계수가 클수록 패턴의 설계치수를 미세하게 할 수 있고, 이로 인해 초정밀 미세가공에 유리할 것으로 사료된다. 따라서 포토에칭기술로 제품을 생산하는 산업현장에서는 노즐 선정 및 노즐에 따른 분사조건 최적화를 통해 에칭계수를 향상시킬 필요성이 있다.

3.2.2 온도의 변화에 따른 에칭계수

Fig. 12는 노즐A에 대하여 분사압력별로선단거리 200 mm에서 에칭용액의 온도를 45, 55, 65, 70℃로 변화시키면서 에칭 했을 때의 에칭계수를 나타내고 있다. 온도가 증가할수록 그리고 분사압력이 높을수록 에칭계수가 증가하는 경향이었다. 이것은 온도가 증가할수록 에칭용액의 점도가 감소하게 되어 분무주류나 액막에서의 불안정성을 촉진시켜 액적들의 미립화가 향상되게 되고 이런 액적들이 미세하게 에칭되는 틈으로 잘 파고 들기 때문으로 사료된다. 또한 점도감소로 인한 분사노즐 내부에서의 마찰 감소와 분사압력 증가에 따라 분무운동량이 증가하여 에칭효과가 증가하게 된 것으로 사료된다. 또한 에칭용액의 온도가 65℃ 에서 70℃로 변함에 따라 에칭계수가 약 12% 정도로 급격히 향상되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13 과 Fig. 14는 노즐A에 대하여 분사압력을 4 kgf/㎠으로 선단거리 200 mm에서 분사유체의 점도 및 밀도를 각각 변화시켰을 때의 반경방향에 따른 축방향 평균속도와 액적크기를 각각 나타내고 있다.

Fig. 13에서는 점도가 증가할수록 축방향 평균속도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은

분사액체의 점도가 증가할수록 노즐내부의 벽면과의 마찰증가로 인해 분무축방향 운동량이 감소하기 때문으로 사료된다.

Fig. 14에서는 점도가 증가할수록 액적크기가 커지는 경향을 알 수 있다. 이것은 점도증가로 인해 액적들의 미립화가 둔화되었기 때문으로 사료된다. 온도 및 분사압력 변화에 따른 에칭계수와 점도 및 밀도변화에 따른 분무특성과의 관계를 분석하면 동일선단거리에서는 에칭용액의 온도가 높을수록 즉 점도 및 밀도가 낮을수록 에칭계수가 크며 이러한 경우에는 분무액적들의 축방향 평균속도가 크고 액적크기가 작다는 것을 알 수 있었다. 따라서 에칭특성과 분무특성은 상호 연관성을 가지며 실제 산업현장에서 미세가공에 유리한 에칭계수를 확보하기 위해서는 에칭효과가 크고 미립화가 양호한 노즐 및 분사조건을 선정하는 것이 중요하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 분사조건에 따른 에칭특성과 분무특성을 측정하고 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일선단거리에서 에칭률은 분사압력이 큰 경우와 분무중심영역에서 크게 나타났으며 액적들의 축방향 평균속도와 충격력이 크고 액적의 크기가 작은 경우에 에칭률이 크게 나타났다.

(2) 에칭률과 가장 큰 상관관계를 가지는 분무특성은 충격력으로 분석되었다.

(3) 선단거리가 감소할수록 에칭계수는 증가하였으며 액적들의 축방향 평균속도, 충격력, 액적의 크기가 큰 경우에 에칭계수가 크게 나타났다.

(4) 에칭용액의 온도 및 분사압력이 증가할수록 에칭계수는 증가하였으며 이러한 경우에는 상대적으로 분무액적들의 축방향 평균속도가 크고 액적크기가 작았다.

(5) 에칭특성과 분무특성은 상호 연관성을 가지며 실제 산업현장에서 미세가공에 유리한 에칭계수를 확보하기 위해서는 에칭효과가 크고 미립화가 양호한 노즐 및 분사조건을 선정하는 것이 중요하다.

참고문헌

(1) Choi, D. S., Choi, G. M. and Kim, D. J., 2002, "Spray Structures and Vaporizing Characteristics of a GDI Fuel Spray," *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 7, pp. 999~1008.

(2) Jia, W. and Qiu, H.H., 2003, "Experimental Investigation of Droplet Dynamics and Heat Transfer in Spray Cooling," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 27, pp. 829~838.

(3) Ye, Q., Domnick, J. and Khalifa, E., 2002, "Simulation of the Spray Coating Process Using a Pneumatic Atomizer," *ILASS-Europe 2002.*

(4) Shrimpton, J. S. and Yule, A. J., 1998, "Drop Size and Velocity Measurement in an Electrostatic Producted Hydrocarbon Spray," *ASME Journal of Fluids Engineering*, Vol. 120, pp. 580~585.

(5) Butler Ellis, M.C. and Miller, P.C.H, 2000, "Effects of Formulation on Spray Nozzle Performance for Applications from Ground-Based Boom Sprayers," *Crop Protection*, 19, pp. 609~615.

(6) Heskestad, G., 2003, "Extinction of Gas and Liquid Pool Fires with Water Sprays," *Fire Safety Journal*, 38, pp. 301~317.

(7) Jung, J. W., Cha, K. J. and Kim, D. J., 2000, "Characteristics of the Droplet Behavior in the Overlap Region of Twin Spray and in Single Spray," *Transactions of the KSME*, B, Vol. 24, No. 10, pp. 1300~1308.

(8) Choi, Y. C., Jung, J. W. and Kim, D. J., 2001, "Characteristics of Spray from Pressure-Swirl Nozzle with Different Liquid Properties and Nozzle Geometries," *Transactions of the KSME*, B, Vol. 25, No. 12, pp. 1813~1820.

(9) Lee, I. S., Jung, J. W., Cha, K. J. and Kim, D. J., 2002, "The Effect of Property of Emulsified Fuel and Injection Pressure on the Spray Characteristics for Super-Critical-Pressure Burner," *JOURNAL OF ILASS-KOREA*, Vol. 7, No. 3, pp. 38~44.

(10) Visser, A. and Buhlert, M., 2001, "Theoretical and Practical Aspects of the Miniaturization of Lead Frames by Double Sided Asymmetrical Spray Etching," *Journal of Materials Processing*

Technology, Vol. 115, pp. 108~113.

(11) Ueda, R., Toki, S., Tanizaki, Y., Sugiutra T. and Asakura, S., 1994, "Principles of Photoetching in the Fabrication of Fine-Pitch Lead Frames," *Metal finishing*, Vol. 92, No. 1, pp. 29~31.

(12) Kim, M. and Lee, J. K., 1995, "A Study on the Single-Side Photo Etching of Stainless Steel Plate Etched Ferric Chloride Etchant," *J. Corros. Sci. Soc. of Korea*, Vol. 24, No. 4, pp. 239~249.

(13) Yoon, D. S., Lee, G. W. and Park, C. H., 2000, "Studies on the Ferric Chloride Etching of Shadow Masks," *Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers*, Vol. 38, No. 3, pp. 393~397.