

이중분무에서 분무특성과 에칭특성의 상호상관

정지원*·김영진**·김덕줄†

(2003년 10월 25일 접수, 2004년 3월 4일 심사완료)

Correlation Between Spray Characteristics and Etching Characteristics in Twin Spray

Ji-Won Jung, Young-Jin Kim and Duck-Jool Kim

Key Words: Spray Characteristics(분무특성), Etching Rate(에칭률), PDA(위상도플러 입자분석기), Single Spray(단일분무), Twin Spray(이중분무)

Abstract

The objective of this study is to obtain the correlation between the spray characteristics and the etching characteristics for the optimization of etching system in the micro fabrication industry. The etching characteristics such as etching rate were measured under different conditions. The single spray characteristics such as droplet size and velocity were measured by PDA system. These were compared to the etching characteristics. The twin spray characteristics in the overlap region were analyzed to predict the effect of them on the etching characteristics with the pitch and also were compared to the single spray. The etching rate was increased in case of high spray pressure and in the region of spray center. It was found that the etching characteristics could be correlated with the single spray characteristics and the twin spray characteristics were correlated with the etching characteristics.

기호설명

- D_{32} : 자우터 평균 직경(SMD)
- P_i : 분사압력
- r : 상관계수
- Z : 선단거리

1. 서론

최근 초정밀 미세가공 기술은 제품의 초소형화, 고집적화, 고정세화의 추세에 따라 발전 속도가

가 가속화 되고 있다. 또한 21세기를 주도할 핵심 기술로서 기술선진국에서는 국제사회에서의 경쟁력 향상을 위해 지속적인 기술개발 전략으로 대응하고 있는 실정이다.

이러한 초정밀 미세가공 기술은 여러 산업 분야 즉 반도체, 통신, 광학, 전자부품, 초소형정밀 기계 등의 분야에서 미세 부품가공, 제조상 미세가공이 필요한 공정, 소재개발에 필요한 재료 증착 등에 응용되고 있으며 점차 그 응용분야는 확대되어 가고 있다. 특히 반도체 및 전자부품 분야에서는 초정밀 미세가공기술로 리소그래피 기술을 이용하고 있으며 리소그래피 기술은 포토공정과 에칭공정으로 나눌 수 있다.

리소그래피 기술은 가공하고자 하는 물체에 감광성수지(photoresist)를 도포하고 특정패턴의 원판 역할을 하는 마스크를 이용하여 적절한 파장의 빛을 투과시켜 감광성수지에 광반응을 일으킨 후 현상하고 현상에 의해 노출된 부분을 에칭으로 제거하여 최종적으로 원하는 특정패턴을 구현하는 기술이다. 리소그래피 기술을 이용한 초정밀

* 회원, 부산대학교 기계기술연구소

** 부산대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학과

E-mail : djkim@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3072 FAX : (051)510-9598

미세가공 산업의 여러 공정 중에서 에칭공정은 핵심공정이며 이러한 에칭공정은 습식에칭기술인 분무에칭기술을 사용하며 에칭용액을 가공물체에 분사시켜 가공물체에 고정체의 특정 패턴을 형성시키는 공정이다. 에칭공정에서 에칭특성은 에칭시스템 및 소재와 에칭용액에 의해 영향을 받으며 특히 에칭시스템에서의 분무시스템과 이에 따른 에칭용액의 분무특성은 미세가공 제품의 품질 및 생산성에 중요한 인자가 된다. 따라서 에칭공정의 최적화를 위해서는 주요 인자에 따른 에칭특성에 관한 전반적인 연구도 필요하지만 에칭시스템의 특성과 조건에 따른 분무특성과 에칭특성의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해가 필요하다.

액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구⁽¹⁻⁶⁾는 산업 및 공학의 다양한 분야에서 응용되고 있고, 최근에는 산업적 공정특성에 근접한 추세로 연구가 진행되고 있으며 특히 분무시스템의 구조 및 사용유체의 특성변화에 따른 분무특성에 관한 연구⁽⁷⁻⁹⁾도 수행되었다. 그러나 현재까지 에칭기술 및 에칭시스템에 관한 연구⁽¹⁰⁻¹³⁾는 부족한 상태이다. 특히 에칭시스템의 특성과 조건에 따른 분무특성과 에칭특성의 상호 연관성에 대한 근본적인 연구는 미흡한 단계에 있다. 또한 생산현장에서는 아직도 에칭기술에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 단일노즐로부터 분사될 때의 에칭특성인 에칭률을 에칭조건에 변화에 따라 구하고 이를 PDA시스템을 사용하여 분석한 단일노즐의 분무특성과 상호 관련성을 비교하였다. 또한 산업현장에서 실제적으로 사용되고 있는 분무시스템을 고려하여 노즐중심축간 거리(피치)에 따른 이중분무의 분무특성을 분석하였다. 또한 이를 단일분무와 비교하여 이중분무의 특성이 에칭특성에 미치는 효과를 예상하였다. 이 결과를 토대로 미세가공 산업에서 에칭시스템의 근본적인 이해와 최적화에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 분무특성 분석을 위한 실험 장치를 나타낸다. 실험장치의 구성은 분무시스템, PDA 시스템으로 구성된다. 분무시스템은 분사노즐, 압력

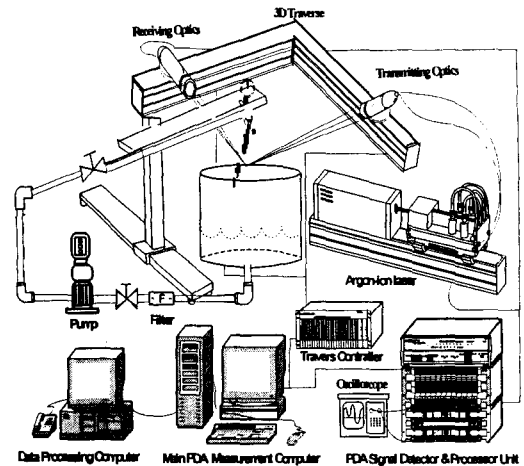


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for spray characteristics analysis

Table 1 Specifications of nozzle

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

계, 레귤레이터, 대형수조, 정수필터, 분사압력 조절을 위한 밸브 등으로 구성되어 있다. PDA 시스템은 레이저, 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원 이송장치, 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 분사 시스템은 펌프와 대형 수조를 배관으로 연결하여 순환식으로 작동유체를 공급하도록 설치하였다. PDA 시스템에서 레이저는 Ar-ion 레이저(최대출력 5W)가 사용되었고 실험시 사용출력은 2W로 하였으며 초점거리는 송광부와 수광부 모두 400 mm로 하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용된 스월 노즐의 제원을 나타내고 있다.

2.2 실험방법

에칭특성인 에칭률을 측정하기 위해 에칭시스템 내에서 철판시편을 고정시킨 후 분사노즐을 통해 염화 제2철 용액을 수직하방향으로 분사시키고 세정 및 건조 후 마이크로미터를 이용하여 잔존하는 시편의 두께를 측정하였다. 에칭률은

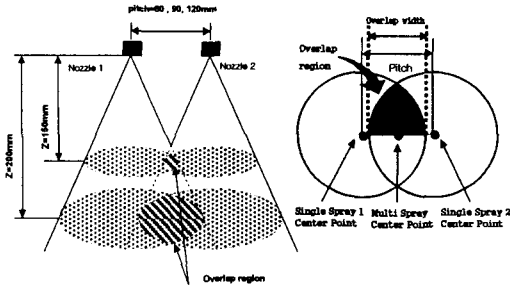


Fig. 2 Schematic diagram of twin spray

시편을 에칭 했을 때 단위시간당 시편의 깊이방향으로의 에칭된 깊이를 나타낸다. 에칭률은 공정에서 생산성의 척도가 되며 에칭물이 클수록 생산성이 향상된다는 것을 의미한다. 단일노즐의 분무특성 측정은 예비실험을 통해 분무의 대칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 분무특성을 측정하였다. 또한 노즐 선단으로부터 분무 축하방향으로 200 mm에서의 횡단면에 대해 분무중심으로부터 반경 방향으로 분무액적이 도달하는 위치까지 측정하였으며 분사압력은 2, 4 kgf/cm²로 하였다.

Fig. 2는 이중분무의 개략도를 나타내고 있다. 이중분무특성 분석을 위해 동일한 두 개의 노즐을 동일높이에 평행하게 설치하였으며 노즐중심축간 거리(피치)를 60, 90, 120 mm로 하였다. 또한 측정 선단거리는 노즐선단으로부터 분무 축하방향으로 150, 200, 250 mm로 하였고 분사압력은 4 kgf/cm²로 하였다. 측정위치의 표기는 두 개의 노즐중심축간의 중심을 원점으로 하는 좌표계이며 원점을 기준으로 해서 중첩이 되는 전체 횡단면의 1/4영역에 대해서 중첩되는 최외각 영역까지 측정하였다. 액적의 크기는 자우터 평균입경(SMD)인 D₃₂로 나타내었다. 작동유체는 상온의 수돗물로서 실험동안 일정한 온도로 유지하여 사용하였으며 측정값은 측정체적을 통과한 5000개 액적의 평균값으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에칭률과 단일분무특성 비교

Fig. 3은 철판시편에 노즐 A와 B에 대하여 분사압력을 각각 2, 4 kgf/cm²로 하여 선단거리 200mm에서 수직 하방향으로 5분간 에칭한 후 노즐 중

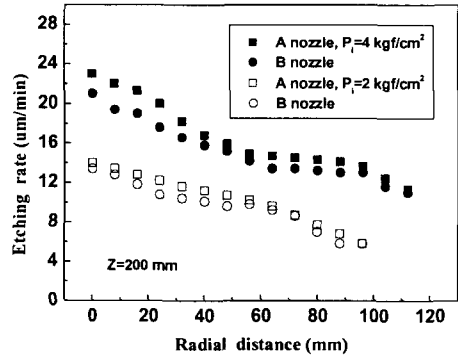


Fig. 3 Etching rate with radial distance

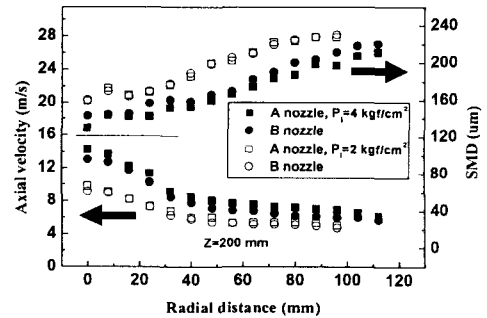


Fig. 4 Axial velocity and SMD with radial distance

심축과 만나는 철판시편의 지점을 기준으로 하여 반경방향으로 에칭률의 변화를 나타낸 것이다. A 노즐의 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. 4는 선단거리 200 mm에서 노즐과 분사압력에 따른 축방향 평균속도와 액적크기를 반경방향 거리에 따라 나타낸 것이다. A, B 노즐 모두 분

사압력이 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 있다. 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 노즐 오리피스 지름에 대한 길이의 비인 노즐 형상비가 작고 스윙러 각도가 커서 수직 방향으로 더욱 기울어져 있기 때문으로 사료된다.

액적크기는 A, B노즐 모두 분사압력이 증가할수록 감소하고 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 액적크기가 증가하고 있다. 이것은 액적들이 분무중심에서는 빠른 속도로 낙하하기 때문에 주위 공기와의 상대속도가 커지고 액적들 상호간의 충돌로 인한 분열 때문에 미립화가 촉진되나, 분무외각에서는 상대적으로 분무중심보다 작은 상대속도와 액적들간의 상호작용에 의한 합체현상이 발생하기 때문이다. 또한 A노즐의 액적크기가 각각의 분사압력에서 B노즐에 비해 상대적으로 작은 것을 알 수 있었다. 이것은 노즐 형상비의 차이 때문으로 사료된다.

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

두 노즐 모두 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 충격력이 감소하는 경향을 나타내고 있으며

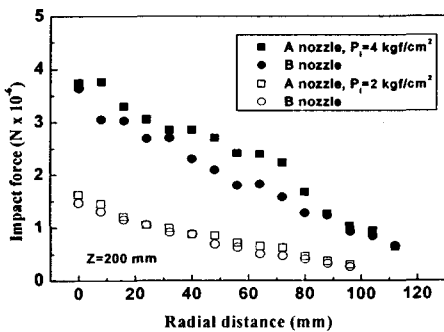
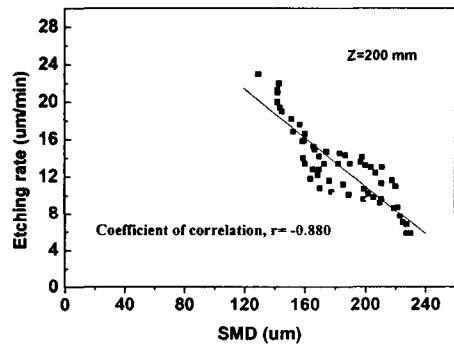


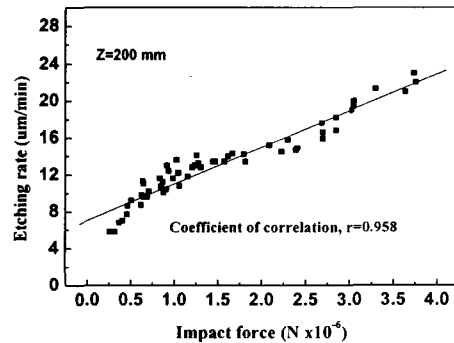
Fig. 5 Impact force with radial distance

또한 각각의 노즐에서는 분사압력이 증가할수록 충격력이 증가하였다. 또한 A노즐이 각각의 분사압력에서 B노즐보다 충격력이 크게 나타났다. 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 상대적으로 축방향 평균속도가 크고 전체 액적이 측정체적을 통과하는 측정시간이 작기 때문으로 사료된다.

Fig. 6은 선단거리 200 mm에서 분사압력이 2, 4 kgf/cm²일 때 A노즐과 B노즐의 에칭률과 동일한 측정지점에서의 (a)액적크기와 (b)충격력과의 상관관계를 대표적으로 나타내고 있다. (a)에서는 액적크기가 작을수록 에칭률이 증가하는 음의 상관관계를 나타내고 있으며 그 상관계수는 -0.880이다. (b)에서는 충격력이 클수록 에칭률이 증가하는 양의 상관관계를 나타내며 그 상관계수는 0.958이다. 따라서 에칭률과 분무특성은 강한



(a) SMD



(b) Impact force

Fig. 6 Correlation between etching rate and spray characteristics

상관 관계를 가진다는 것을 알 수 있으며 분무 횡단면에서는 액적크기가 작고 충격력이 큰 분무 중심에서 에칭률이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 에칭률과 가장 큰 상관관계를 가지는 분무특성은 충격력이었다. 이러한 에칭률이 클수록 산업현장에서는 생산성의 향상을 도모할 수 있고 에칭시간을 적절히 조절한다면 설계치수를 미세하게 할 수 있고 이로 인해 초정밀 미세가공에 유리할 것으로 사료된다.

3.2 이중분무 특성분석

3.2.1 노즐간 거리에 따른 이중분무특성

Fig. 7은 분사압력이 4 kgf/cm^2 이고 B노즐 두개를 노즐중심축간 거리(피치)에 따라 배열했을 때 선단거리에 따른 중첩영역에서의 충격력을 이중

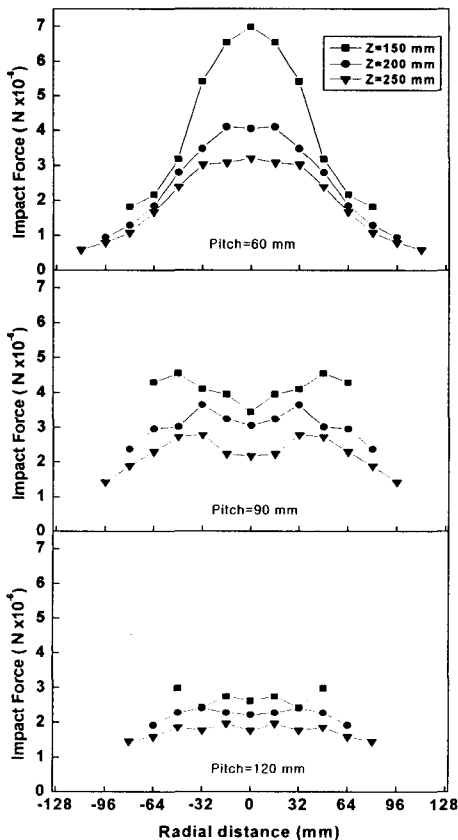


Fig. 7 Impact force with distance from nozzle tip and pitch

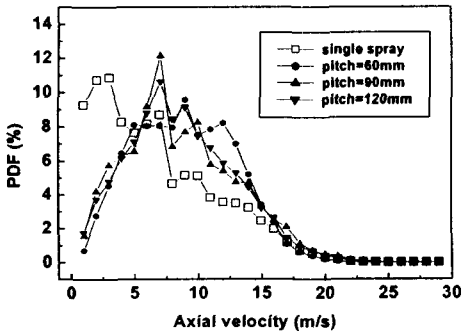
분무 특성 중에서 대표적으로 나타내고 있다. 전체적인 경향은 선단거리가 증가할수록 중첩폭이 커지고 피치가 증가할수록 중첩폭이 작아지는 것을 알 수 있다. 모든 피치에서 선단거리가 증가할수록 충격력이 감소하는 경향이다. 피치가 60 mm인 경우에는 중첩영역 중심에서의 충격력이 중첩영역 외곽의 충격력보다 크며 특히 선단거리가 150 mm에서는 그 차이가 매우 큰 경향을 나타낸다. 이것은 피치가 좁아질수록 중첩영역 중심에서 단일분무의 영향이 많이 작용하기 때문이다. 즉 중첩영역 중심에서 축방향 속도가 큰 액적들이 존재하고 액적의 2차 분열로 인해 액적의 측정시간이 감소한다. 따라서 외각보다 상대적으로 충격력이 큰 것으로 사료된다.

또한 피치가 증가할수록 중첩영역 중심과 외각의 충격력이 균일해지는 경향이다. 이것은 피치가 증가할수록 중첩영역 중심에서 단일분무간의 상호작용이 약해져서 중첩영역 중심과 외각이 상대적으로 균일해지는 것으로 사료된다.

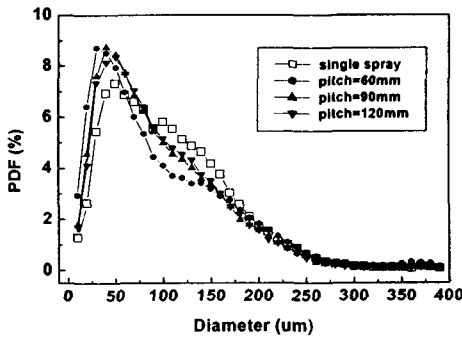
3.2.2 단일 및 이중분무의 특성 비교

Fig. 8은 노즐중심축간 거리별로 각 측정지점에서 측정된 이중분무 특성치 및 이중분무와 동일한 측정지점에서의 단일분무 특성치를 구간별 확률밀도함수(PDF)로 비교하고 있다. 사용된 노즐은 B노즐이고 분사압력은 4 kgf/cm^2 이며 선단거리는 200 mm이다. (a)에서 축방향 속도는 모든 이중분무의 경우에 단일분무보다 축방향 속도가 큰 범위에 분포하는 액적들이 확률이 높고 작은 범위에 분포하는 액적들의 확률이 낮은 경향으로서 단일분무에 비해 축방향 속도가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 중첩영역에서는 액적들의 충돌로 인해 액적들의 반경방향 운동량이 손실되어 대부분 액적들이 축하방향으로 이동하면서 축방향 분무모멘텀이 증가하기 때문으로 사료된다. (b)에서 입경은 이중분무의 경우에 입경이 작은 범위에 분포하는 액적들의 확률이 높음으로서 단일분무에 비해 입경이 작다. 따라서 개별 노즐을 중첩시킴으로서 액적 상호간의 충돌에 의한 미립화 효과의 향상을 유발할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있다. (c)에서 충격력은 이중분무가 단일분무에 비해 충격력이 크다는 것을 알 수 있다.

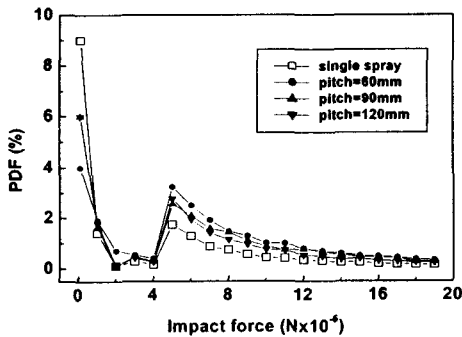
전술한 단일분무와 에칭률과의 관계를 분석한 결과를 토대로 하여 개별 단일분무가 중첩되어



(a) Axial velocity



(b) Droplet size



(c) Impact force

Fig. 8 Probability density function of single and twin spray characteristics ($z=200\text{mm}$, $p_1=4\text{kgf/cm}^2$)

이중분무 되었을 때의 경우에 에칭특성에 미치는

효과를 예상하면 에칭률은 단일분무의 경우보다 클 것으로 예상된다. 이것은 이중분무에서 축방향 속도 및 충격력이 단일분무보다 크고 액적의 크기가 작기 때문이다. 따라서 개별노즐을 중첩시켜 분사한다면 산업현장에서는 생산성의 향상과 초정밀 미세가공을 예상할 수 있고 여기에는 노즐 선정 및 노즐에 따른 분사조건 최적화가 필요하다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 분사조건에 따른 에칭특성과 단일 및 이중분무특성을 측정하여 단일분무특성과 에칭특성의 상관관계를 분석하고 이중분무의 특성이 에칭특성에 미치는 영향에 대해서 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 에칭률은 분사압력이 큰 경우와 분무중심영역에서 크게 나타났으며 액적들의 축방향 평균속도와 충격력이 크고 액적의 크기가 작은 경우에 에칭률이 크게 나타났다.
- (2) 충격력은 액적크기와 축방향 속도보다는 에칭률과의 상관계수가 크다.
- (3) 이중분무에서 노즐중심축간 거리가 증가할수록 중첩영역에서의 충격력은 노즐중심축간 거리가 협소한 경우보다 감소하면서 균일한 경향이 었다.
- (4) 이중분무의 경우 단일분무에 비해 상대적으로 축방향 속도와 충격력이 크며 입경은 작은 경향이 었다.
- (5) 개별 단일분무가 중첩되어 이중분무 되었을 때의 에칭률은 단일분무의 경우보다 클 것으로 예상된다.

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 Produced 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.