

산업용 에칭노즐을 이용한 Invar합금판의 식각에 분사각과 압력이 미치는 영향

정흥철*, 김동욱*, 최경민**, 김덕줄#

The Effect of Injection Angle and Pressure on Etch of Invar Plate Using Industrial Etch-Nozzle

Heung-Cheol Jeong*, Dong-Wook Kim*, Gyung-Min Choi** and Duck-Jool Kim#

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the significant characteristics in spray of industrial etch-nozzle for the design of process. The experiment was carried out with different spray pressure and industrial nozzle in wet etch. The characteristics of liquid spray, such as axial velocity and sauter mean diameter measurements were obtained by PDA. And impact force was calculated from spray characteristics. It was found that the fluid with higher spray pressure resulted in the smaller SMD and the higher droplet velocity and impact force. The depth of etch was increased in case of high spray pressure. In the case of injection angle oscillated between 20°, the result indicated constant effect of etch. The correlation between the spray characteristics and etch ones were analyzed. The depth of etch had good positive correlation with axial velocity and impact force. The result clearly shows that the characteristics in wet etch are strongly related to the spray characteristics with process.

Key Words : Spray pressure (분사압력), Impact Force (충격력), PDA (위상 도플러 입자분석기), Injection Angle (분사각), Depth of Etch (식각깊이), Spray Characteristics (분무특성)

기호설명

- D_s = Sauter 평균직경
- P_i = 분사압력
- U_i = 액적의 축방향 속도
- Δt = 샘플링 시간

1. 서론

인바(invar)는 36%이상의 Ni을 함유하여 극저온 ($\leq -163^\circ\text{C}$)에서 상온이상까지 열에 의한 팽창이 거의 일어나지 않는 Fe-Ni 합금이다. 인바강의 저열팽창 특성은 우선 미사일·항공기 등의 군수산업, Lead Frame·CRT 등과 같은 전자·반도체산업 및 LNG선의 조선산업에 널리 이용되고 있다.^{1,2}

접수일: 2006년 5월 9일; 게재승인일: 2006년 7월 7일
 * 부산대학교 기계공학과, 기계기술연구소
 ** 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
 # 교신저자: 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
 E-mail djkim@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-3072

이들 중 인바강을 이용한 전자·반도체 산업에서 이용되고 있는 에칭(etching)기술은 리소그래피(lithography) 가공기술 중의 핵심기술로서 크게 건식 및 습식의 두 방법으로 나뉘는데, 건식에칭의 경우 높은 에너지를 갖는 이온들의 물리적 충돌로 인하여 가공표면이 손상되는 문제점이 있다. 낮은 에너지 공정인 습식에칭은 화학적 혹은 전기화학적 반응을 사용하여 다양한 소재의 정밀한 제품을 경제적이고 대량으로 생산할 때 주로 이용된다.

습식에칭은 감광성 수지로 보호패턴이 형성된 소재에 에칭용액(etchant)을 분사하여 원하는 부분만 선택적으로 식각시켜 가공하는 기술이다. 따라서 분사되는 액적들의 속도, 크기, 충격력 등의 분무특성은 미세 가공소재의 품질 및 생산성에 중요한 요인으로 작용하므로 이를 향상시키기 위해서는 분무특성과 에칭특성의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해가 필요하다.

현재 액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구^{3,4}는 다양한 분야에서 응용되고 있으며 에칭시스템 및 습식 에칭에 관한 연구⁵⁻⁸는 에칭용액, 선폭, 에칭방법 등의 에칭변수들이 에칭특성에 미치는 영향에 대해 주로 연구되었으나 분무특성을 통한 습식 에칭에 관한 연구는 미흡한 상태이며 산업현장도 습식에칭기술에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 습식에칭에 사용되는 산업용 노즐의 분무특성을 PDA(Phase Doppler Analysis)장치를 통하여 분석하고 인바강을 염화철을 이용하여 습식 에칭한 뒤 그 에칭특성을 구한 뒤 분무특성과의 상호 연관성을 조사하였다. 이 결과를 토대로 인바강을 이용한 전자·반도체 산업에서 습식에칭에 대한 근본적인 이해와 품질 및 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1(a)는 분무특성 분석을 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 분무특성 분석을 위한 실험장치는 크게 분사 시스템과 PDA 시스템으로 구성된다. 분사시스템은 스웰노즐, 압력계, 펌프, 레귤레이터, 분사압 조절 밸브로 구성 되어있다. PDA 시스템은 레이저를 포함한 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원 이송장치, 제어기 등으로 이루어져 있다. 레이저는 Argon-ion 레이저(최대출력 5W)가 사

용되었고 실험시 사용출력은 2W로 하였으며 초점 거리는 송광부와 수광부 모두 400mm로 하였다.

Fig. 1(b)는 에칭특성 분석을 위한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 인바합금을 고정하기 위한 고정판과 고정판이 설치되는 챔버로 이루어진 고정계, 에칭용액이 분사되는 분사계, 에칭후 인바강의 식각패턴을 측정하기 위한 광학계로 이루어진다.

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

2.2 실험방법

분무특성은 예비실험을 통해 분무의 대칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 PDA 시스템을 사용하여 측정하였다. 또한 노즐에서부터 선단거리 200mm의 횡단면에 대해 분무중심으로부터 반경방향으로 분무가 분포하는 최외곽영역의 위치까지 측정하였으며 작동유체의 분사압력은 에칭시 분사압력과 같은 0.2, 0.4 MPa로 하였다. 에칭액인 염화철용액의 분사를 PDA

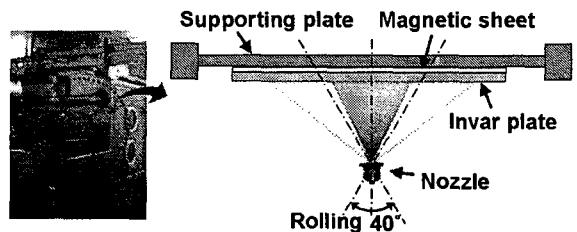
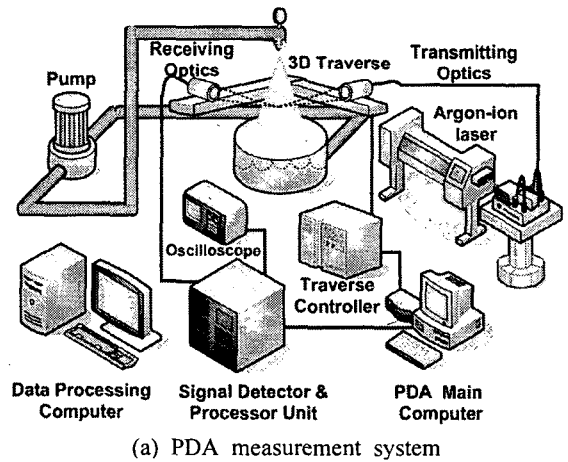


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

Table 1 Specifications of nozzle

Nozzle	A	B
Length / diameter of orifice	0.93	0.83
Length / diameter of swirl chamber	1.60	1.45
Swirler vane angle (°)	28	25

장치로 직접 측정하면 장비의 부식 및 이물질의 부착으로 인한 손상이 우려된다. 유체의 비중과 점도에 관한 연구⁹에 의하면 물의 분무특성으로 염화철 용액의 분무특성을 예측할 수 있었다. 따라서 염화철 용액을 대신하여 상온의 물을 실험 동안 일정한 온도로 유지하여 사용하였으며, 분무특성의 측정값은 PDA 시스템의 측정체적을 통과한 액적 5000개의 평균값으로 하였다.

에칭에 사용되는 용액으로 염화 제2철 용액이 사용되었으며 크기 300x300mm이고 두께 120 μ m인 인바합금판을 시편으로 사용하였다. 분무 에칭시 분사압력은 0.2, 0.4 MPa로 하였고 온도 45 $^{\circ}$ C, 비중 46Be인 에칭용액을 사용하였으며 총 처리시간은 300sec로 하였다. 노즐 팁으로부터 시편까지의 수직거리인 선단거리는 200mm로 하고 노즐의 분사각을 0, 20 $^{\circ}$ 와 좌우 각각 20 $^{\circ}$ 로 요동시켜 에칭하였다. 에칭이 끝난 시편은 3차원 광학측정 장치를 사용하여 에칭패턴을 측정하였다. 에칭용액의 분사는 하방분사 방식을 통해 판을 따라 흐르는 용액으로 인한 에칭효과를 배제하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 노즐의 분무특성

Fig. 2는 선단거리 200mm에서 노즐과 분사압력에 따른 1/4분무 횡단면의 축방향 속도분포와 각 측정지점의 축방향 속도를 산술 평균한 값을 나타내고 있다. A, B노즐 모두 분사압력이 증가함에 따라 축방향 평균속도는 30%이상 증가하였다. 이것은 분무운동량이 분사압력의 증가에 따라 증가하기 때문이다. 또한 반경방향 거리가 증가할수록 축방향 평균속도는 감소하고 있는데 이것은 분무외각으로 갈수록 주위 공기의 저항과 유입으로 인해 축방향 모멘텀이 감소되기 때문으로 사료된다. 그리고 A노즐의 축방향 평균속도가 각각의 분사압력에서

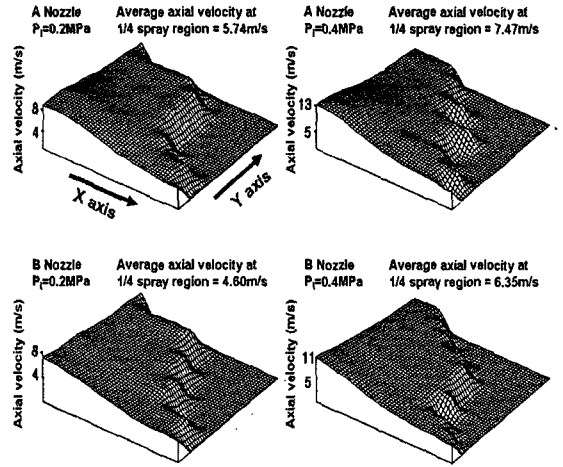


Fig. 2 Axial velocity distribution and average axial velocity at 1/4 cross section with spray pressure

B노즐에 비해 크게 나타나고 있다. 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 노즐 오리피스의 지름에 대한 길이비인 노즐 형상비가 크고 스월러의 각도가 축방향으로 더욱 기울어져 있기 때문에 노즐 내부에서의 벽면마찰에 의한 유동에너지의 손실에 따른 영향으로 사료된다.

Fig. 3은 선단거리 200mm에서 노즐과 분사압력에 따른 1/4분무 횡단면의 SMD(Sauter Mean Diameter) 분포와 각 측정지점의 SMD를 산술 평균한 값을 나타내고 있다. A, B노즐 모두 분사압력이 증가할수록 평균입경은 조금 감소하였다. 또한 분

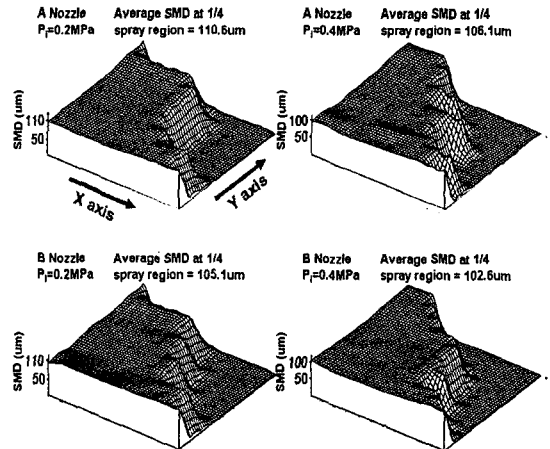


Fig. 3 SMD distribution and average SMD at 1/4 cross section with spray pressure

무중심에서 분무외각으로 갈수록 입경이 약 15~20 μm 정도 증가하였다. 이것은 액적들이 분무중심에서는 빠른 속도로 낙하하기 때문에 주위 공기와 상대속도가 커지고 액적들 상호간의 충돌로 인한 분열 때문에 미립화가 촉진되며 분무외각에서는 상대적으로 분무중심보다 낮은 상대속도와 액적들 서로간의 상호작용에 의한 합체현상이 발생하기 때문에 액적들의 크기가 증가하는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 선단거리 200mm에서 노즐과 분사압력에 따른 1/4분무 횡단면의 충격력분포와 각 측정지점의 충격력을 산술 평균한 값을 나타내고 있다. 충격력은 액적을 구형이라 가정했을 때 액적 체적을 이용하여 구한 액적의 질량에 축방향 속도를 곱하여 샘플링 시간으로 나눈 값으로 아래의 식(1)로 표현된다.¹⁰

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

여기서, ρ 는 액적밀도, d_i 는 액적 직경, U_i 는 액적 축방향 속도, Δt 는 샘플링 시간을 나타낸다. A, B노즐 모두 분무중심에서 분무외각으로 갈수록 충격력이 감소하는 경향을 나타내고 있으며 분사압력이 증가할수록 충격력도 증가하였다. 또한 A노즐이 각각의 분사압력에서 B노즐보다 충격력이 크게 나타났다. 이것은 A노즐이 B노즐에 비해 상대적으로

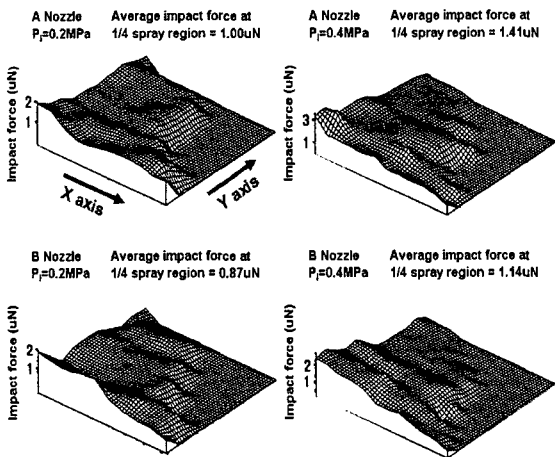


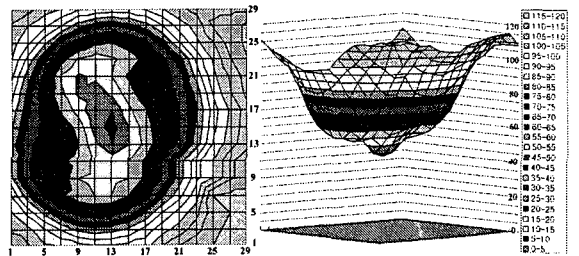
Fig. 4 Impact force distribution and average impact force at 1/4 cross section with spray pressure

로 축방향 속도가 크고 또한 액적의 수밀도가 크기 때문에 사료된다.

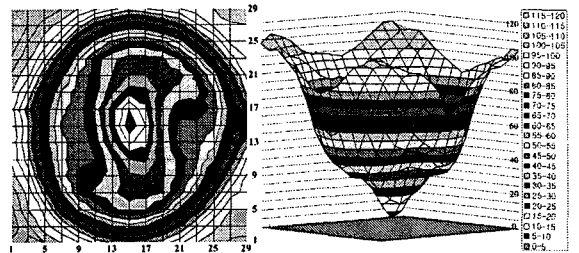
3.2 노즐의 에칭패턴

Fig. 5와 Fig. 6은 분사압력에 따른 인바강의 에칭패턴을 나타내고 있다. 분사압력이 0.2MPa보다 0.4MPa일 때가 약 37%의 깊이방향 식각이 더 이루어졌으며 분사압력이 낮은 경우에 중심부의 식각부분이 완만하게 나타났다. 전체적으로 0.2 MPa일 때는 A노즐과 B노즐의 부식깊이는 거의 유사하나 분사압력이 0.4 MPa인 경우에는 A노즐이 더 크게 나타났다. 이것은 노즐의 형상비에 대한 영향이 분사압이 커지면서 더 크게 나타났기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 7은 분사압력이 0.4MPa일 때, 분사각에 따른 인바강의 에칭패턴을 나타내고 있다. 수직분사인 0°인 경우보다 분사각을 20°로 준 경우에 식각의 영향이 나타나는 유효반경은 좁아 졌다. 이것은 노즐 중심으로부터 큰 각을 가지는 액적은 부식에 미치는 영향이 작기 때문으로 사료된다. 또한 20°인 경우가 유효반경 내의 부식깊이가 더 크게 나타났다. 이것은 분사각의 변화에 따른 반경방향으로의 에칭용액의 흐름이 더 원활해졌기 때문으로 사료된다. 좌우 20°로 요동을 하였을 경우에는 식각패턴이 정규분포 곡선에 가까웠으며 깊이방향 식각은 조금 감소하는 경향을 나타내었으며 전체적으로

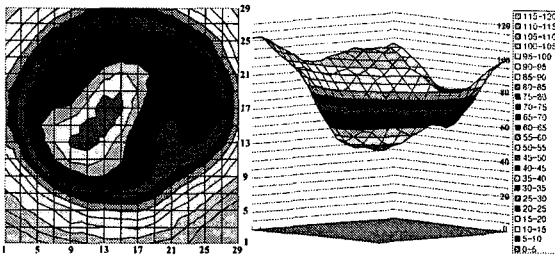


(a) 0.2 MPa

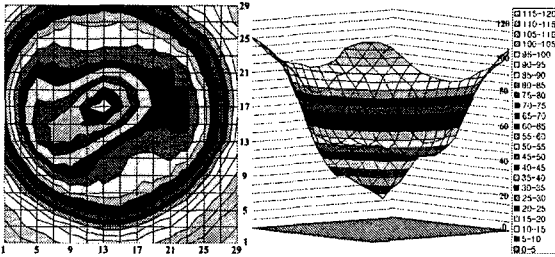


(b) 0.4 MPa

Fig. 5 Etch-pattern of A nozzle with spray pressure



(a) 0.2 MPa



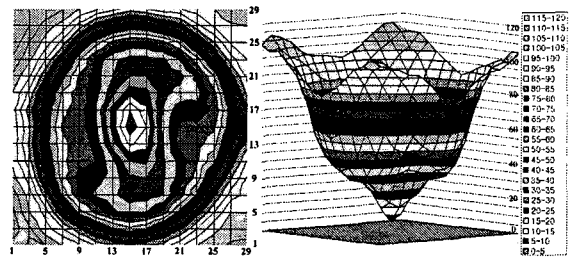
(b) 0.4 MPa

Fig. 6 Etch-pattern of B nozzle with spray pressure

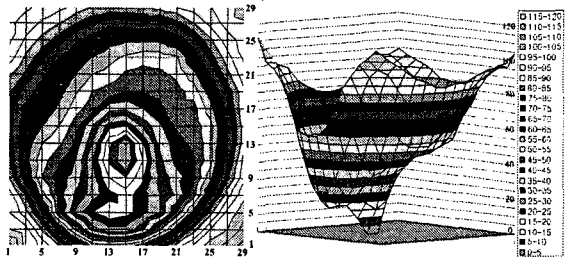
일정한 깊이로 식각효과가 나타났다. 이것은 식각의 세기가 용동 각도에 의하여 위치별로 변화하므로 식각의 영향력이 가장 많이 증첩되는 중심부분의 부식량이 커졌기 때문으로 사료된다. 또한 용동하는 경우에는 식각에 유효한 액적이 소재에 충돌하는 수가 적어지므로 전체적인 식각 깊이는 낮아지는 것으로 사료된다.

반경방향 거리에 따른 식각깊이와의 영향력 평가는 회귀모형을 이용하였다. 회귀모형이 두 변수간의 상관관계를 어느 정도 잘 표현하였는가는 결정계수를 통하여 확인할 수 있다. 결정계수(R^2)의 범위는 $0 \leq R^2 \leq 1$ 이고 $R^2=0$ 에 가까울수록 회귀직선이 자료를 잘 설명하지 못한다는 것을 의미하고 1에 가까울수록 회귀직선이 자료를 잘 설명하는 것이 되어 상관관계가 크다고 할 수 있다.¹¹

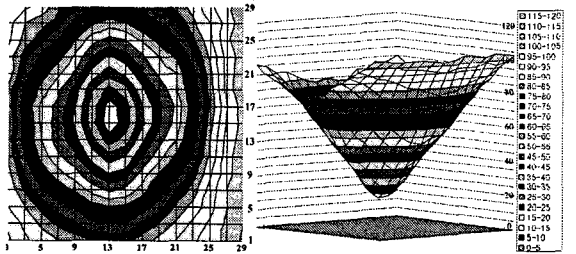
Fig. 8은 분사압력이 0.4MPa일 때, 반경방향 거리와 식각 깊이의 상관관계를 나타내고 있다. 반경방향의 거리가 커질수록 식각 깊이는 일정한 양으로 감소하는 음의 상관관계를 나타내고 있으며 그 결정계수는 0.888로서 신뢰할 만한 상관관계를 나타내고 있다. 따라서 습식에칭법을 이용하는 산업현장에서는 원하는 식각깊이로 가공하기 위한 분무폭 및 증첩시키기 위한 노즐간의 거리 치수를 선정할 수 있고 이로 인해 초정밀 미세가공에 유리할 것으로 사료된다.



(a) 0°



(b) 20°



(c) Rolling 20°

Fig. 7 Etch-pattern of A nozzle with injection angle

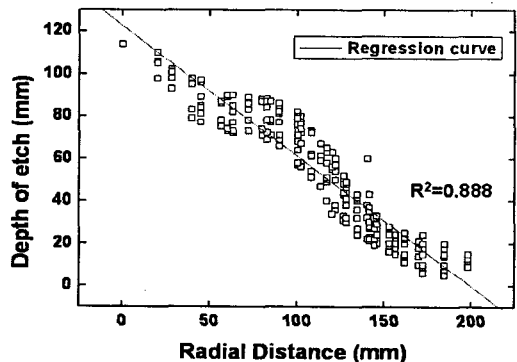
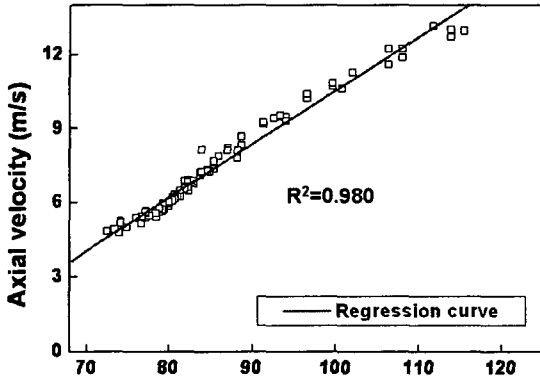


Fig. 8 Correlation between radial distance and depth of etch

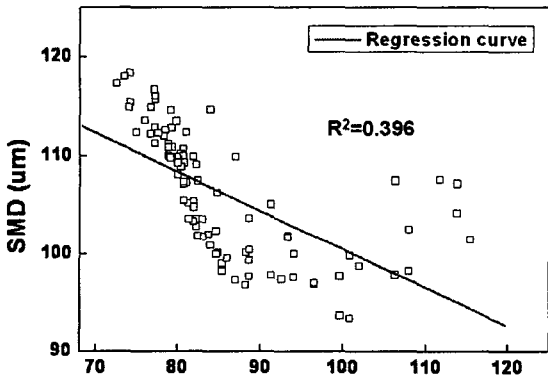
3.3 분무특성과 에칭패턴의 상관관계

Fig. 9는 선단거리 200mm이고 분사압력이 0.4MPa일 때, A노즐의 (a) 축방향 속도와 (b) SMD

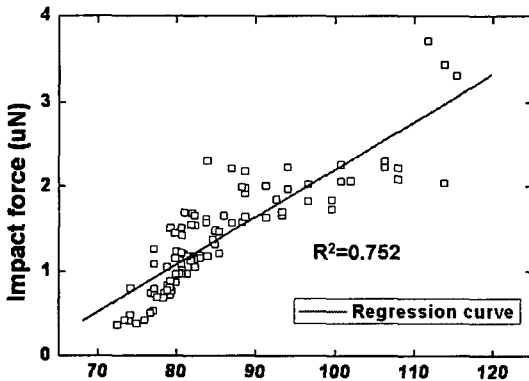
및 (c) 충격력과 같은 분무특성과 식각 깊이와의 상관관계를 대표적으로 나타내고 있다. (a)에서는 유



(a) Axial velocity



(b) SMD



(c) Impact force

Fig. 9 Correlation between depth of etch and spray characteristics

속이 증가할수록 식각 깊이가 증가하는 양의 상관관계를 나타내고 있으며 그 결정계수는 0.980이다. (b)에서는 액적크기가 작을수록 식각 깊이가 증가하는 음의 상관관계를 나타내고 있으며 결정계수는 0.396이다. (c)는 충격력이 클수록 식각 깊이가 증가하는 양의 상관관계를 나타내며 그 결정계수는 0.752이다. 따라서 식각 특성과 분무특성은 강한 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있으며, 특히 SMD는 식각깊이가 작은 영역에서는 영향이 크나 일정 깊이 이상인 경우 영향력이 크게 감소한다는 것을 알 수 있다. 이것은 식각이 진행됨에 따라 식각액의 흐름이 원활하지 못하여 식각액의 정체영역이 나타날 때 작은 SMD를 가진 액적은 작은 모멘텀으로 인해 그 영역을 통과하지 못하여 식각에 미치는 영향이 감소하였기 때문으로 사료된다. 반대로 축방향 속도는 식각 깊이가 유속에 비례하여 고르게 증가하였는데 이것은 SMD와는 반대로 모멘텀의 증가로 인해 식각에 지속적으로 영향을 끼친 것으로 사료된다. 따라서 일정 범위의 SMD와 축방향 속도의 조절을 통해 식각특성의 향상을 가져올 수 있고 이를 통해 향상된 가공특성을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 분사압력이 증가할수록 축방향 속도와 충격력은 증가하였으나 평균입径은 감소하였다.
2. 분사압력이 0.2MPa보다 0.4MPa일 때가 깊이방향 식각이 더 이루어졌으며 분사압력이 낮은 경우에 중심부의 식각부분이 완만하게 나타났다. 또한 반경방향의 거리가 커질수록 식각 깊이는 일정한 양으로 감소하는 음의 상관관계를 나타내고 있다.
3. 요동이 있는 경우 식각 깊이는 일정하게 증가하였다. 따라서 노즐간의 거리에 따른 설계를 통해 대면적의 가공물을 가공시에 일정한 깊이의 식각을 예측할 수 있다.
4. 분무특성 중 식각깊이와 큰 상관관계를 나타내는 것은 축방향 속도로 나타났다.

후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (KRF-2005-041-D00136)

참고문헌

1. Won, S. T. and Kim, J. H., "The Effects of the Annealing Heat Treatments and Testing Temperatures on the Mechanical Properties of the Invar Materials," Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 12, pp. 167-176, 2001.
2. Kim, W. M., Baek, S. Y., Lee, E. S. and Tak, Y. S., "A study of Pulse EMM for Invar alloy," Proceedings of the KSPE Conference, pp. 560-563, 2004.
3. Shrimpton, J. S. and Yule, A. J., "Drop Size and Velocity Measurement in an Electrostatic Produced Hydrocarbon Spray," ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 120, pp. 580-585, 1998.
4. Jung, J. W., Cha, K. J. and Kim, D. J., "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, 2000.
5. Abate, K., "Photochemical Etching of metals," Metal Finishing, Vol. 98, No. 6, pp. 414-417, 2000.
6. Sundaram, K. B., Sah, R. E., Baumann, H., Balachandran, K. and Todi, R. M., "Wet Etching Studies of Silicon Nitride Thin Films Deposited by Electron Cyclotron Resonance Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition," Microelectronic engineering, Vol. 70, pp. 109-114, 2003.
7. Allen, D. M., "The Principles and Practice of Photochemical Machining and Photoetching," Adam Hilger, Bristol and Boston, 1986.
8. Visser, A. and Buhler, M., "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, 2001.
9. Choi, Y. C., Jung, J. W. and Kim D. J., "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, 2001.
10. Jeong, H. C., Choi, G. M. and Kim, D. J., "The Prediction of Etching Characteristics Using Monte-Carlo Simulation in Etching Process of Lead-Frame," Journal of KSPE, Vol. 23, No. 1, pp. 72-79, 2006.
11. Go, S. G., Go, Y. H. and An, B. J., "Representation of Data," Statistical Quality Control, Part 2, pp. 14-17, 2000.