

# Lead-Frame 에칭공정에서 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 에칭특성 예측

정흥철\*, 최경민\*\*, 김덕줄#

## The Prediction of Etching Characteristics Using Monte-Carlo Simulation in Etching Process of Lead-Frame

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

### ABSTRACT

The objective of this work is to simulate the etching characteristics for the optimization on the etching process of Lead-Frame. The etching characteristics such as etching factor, etching uniformity were investigated under different the actual operating conditions. The correlation between the etching characteristics and the spray ones were analyzed to simulate the etching characteristics in the etching process. To improve the etching characteristics in the etching process, effects of the various operating conditions such as pressure, distance from nozzle tip, pipe pitch, and feed speed should be understood in detail. The spray characteristics obtained by experiment using PDA system were simulated by the Monte-Carlo simulation. The etching process model was coded by Java language. It was found that the spray characteristics were correlated with the etching ones and simulation results generally agreed well with the measured results of etching characteristics in the etching process of Lead-Frame. The optimal operating parameters were successfully found under variable conditions.

**Key Words :** Etching Characteristics (에칭특성), Spray Characteristics (분무특성), Etching Factor (에칭계수), PDA (위상 도플러 입자분석기), Monte-Carlo Simulation (몬테카를로 시뮬레이션)

### 기호설명

$E_f$  = etching factor  
 $E_u$  = etching uniformity  
 $N$  = averaged drop number  
 $U_d$  = uniformity of drop number  
 $\epsilon_i$  = error term

### 1. 서론

습식 에칭기술은 반도체, 통신, 광학, 전자부품, 초소형 정밀기계 등의 분야에서 미세가공 기술로서 이용되고 있는 포토리소그래피 기술 중의 핵심기술로서, 최근 제품의 초소형화, 고집적화, 고정세화를 요구하는 수요가 급증하면서 기술력 향상을 위해

접수일: 2005년 7월 26일; 게재승인일: 2005년 11월 10일

\* 부산대학교 기계공학과

\*\* 부산대학교 기계공학부

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부 기계기술연구소

E-mail djkim@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-3072

다양한 연구<sup>1-3</sup>가 진행되고 있는 실정이다.

습식 에칭기술은 포토리소그래피 기술을 사용하는 현상공정을 거치면서 감광성 수지로 보호패턴이 형성된 시편위에 염화철( $FeCl_3$ )용액을 분사하여 원하는 부분만 선택적으로 식각시켜 가공하는 기술이다. 이러한 습식 에칭기술로서 생산되는 제품의 품질 및 생산성은 에칭계수와 에칭균일도로 지칭되는 에칭특성의 영향을 받는다. 에칭특성을 좌우하는 주요인자로는 소재의 이송속도 및 파이프의 배열과 관련된 에칭공정 조건과 선단거리 및 분사압력 등과 관련된 분사조건이 있으며 이는 제품의 원가, 생산성 및 가공정밀도를 좌우하는 에칭특성에 큰 영향을 미칠 것이라고 예측할 수 있다. 따라서 습식 에칭공정의 최적화를 위해서 분무특성과 에칭특성의 상관관계와 에칭시스템의 공정 특성 및 조건의 상호 연관성에 대한 근본적인 이해 및 응용이 필요하다.

액체의 미립화 및 분무특성에 관한 연구<sup>4,5</sup>는 다양한 분야에서 응용되고 있다. Allen<sup>3</sup>은 에칭시간과 선평이 에칭깊이와 에칭계수에 미치는 영향을 조사하였다. Visse<sup>6</sup>등은 비대칭 습식에칭이 고정세화에 미치는 영향을 조사하여 높은 에칭계수와 비대칭 에칭이 고정세화를 위해서 필요하다는 것을 주장하였다. Ueda<sup>7</sup>등은 염화철용액으로 습식 에칭시 에칭운동학과 고정세화의 한계에 대해 조사하였으며 높은 에칭계수와 확산 경계층 두께의 감소를 통해 고정세화가 가능하다고 주장하였다. 현재까지 에칭시스템 및 습식 에칭에 관한 연구는 에칭용액, 선평, 에칭방법 등의 에칭변수들이 에칭특성에 미치는 영향에 대해 주로 연구되었고 분무에칭에 관한 연구는 미흡한 상태이며 산업현장도 포토에칭기술에 대한 상당부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다. 또한 에칭공정의 많은 공정변수들은 복잡한 상호연관성을 가지기 때문에 공정조건의 적절한 선정이 어렵다.

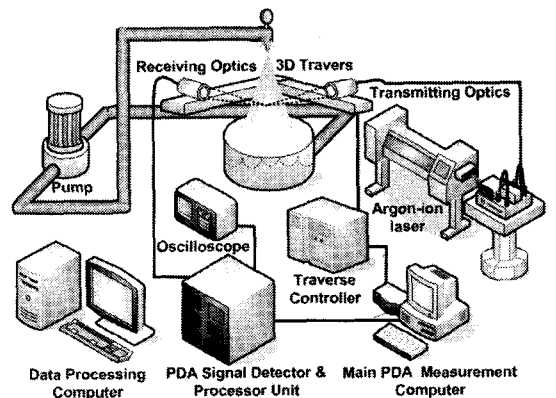
따라서 본 연구에서는 에칭공정의 최적화를 위해 PDA 시스템을 사용하여 측정된 분무특성과 에칭특성의 상관관계에 기초한 몬테카를로 방법을 통해 분포특성을 모델링하고 여러 공정조건에 따라 시뮬레이션을 수행하여 얻어진 결과를 통해 에칭특성을 예측하여 공정변수의 최적조건을 구하고자 한다. 이러한 기술이 확립되면 향후 습식 에칭공정의 에칭특성 향상에 공헌할 뿐만 아니라 생산라인설계에 귀중한 정보로 제공할 수 있다.

## 2. 실험 장치 및 방법

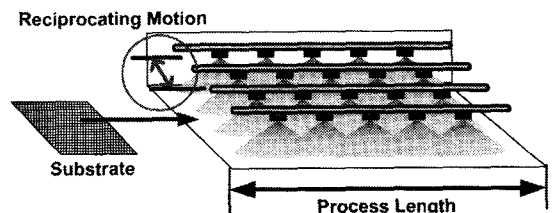
### 2.1 실험장치

에칭이 이루어지는 에칭 챔버는 크기가 900mm x 1200mm인 각각의 선단거리 조건을 따르는 프론트와 리어 챔버로 구성되어 있다. 각각의 챔버는 공정조건에 따라 일정한 간격으로 노즐이 배열된 파이프가 일렬로 설치되어 있다. 파이프들은 일정 속도를 가지고 좌우 왕복운동을 하면서 에칭액을 분사하고 챔버의 내부를 소재가 이송되어 통과하면서 에칭이 이루어지게 된다. 본 연구에 사용된 에칭특성은 설계 시스템, 코팅시스템, 노광 시스템, 현상 시스템, 에칭 시스템, 박막 및 수세시스템으로 구성된 성능테스트 장치에서 이루어졌고, 장치에 대한 설명은 지면관계상 생략한다.

Fig. 1은 분무특성 분석을 위한 실험장치와 에칭공정의 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 이



(a) Schematic diagram of PDA system



(b) Schematic diagram of etching process

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

루어져 있다. 레이저는 Argon-ion 레이저(최대출력 5W)가 사용되었고 실험시 사용출력은 2W로 하였으며 초점거리는 송광부와 수광부 모두 400mm로 하였다.

### 2.2 실험방법

에칭에 사용되는 용액은 염화 제2철 용액이 사용되었으며 두께 150 $\mu$ m의 니켈 합금 동판을 시편으로 사용하였다. 분무 에칭시 분사압력은 0.3, 0.4 MPa로 하였고 에칭용액의 온도는 50 $^{\circ}$ C로 하였으며 노즐 팁으로부터 시편까지의 수직거리인 선단거리는 각각 150, 200, 250 mm로 하였다. 에칭이 끝난 시편은 3차원 광학측정 장치를 사용하여 에칭된 섹폭과 깊이를 구하여 에칭계수를 산출하였다.

분무특성은 예비실험을 통해 분무의 대칭성을 확인하여 분무중심축을 기준으로 분무횡단면의 1/4 단면에 대해서 PDA 시스템을 사용하여 측정하였다. 또한 노즐에서부터 선단거리 150, 200, 250 mm의 횡단면에 대해 분무중심으로부터 반경방향으로 분무가 분포하는 최외곽영역의 위치까지 측정하였으며 작동유체의 분사압력은 에칭시 분사압력과 동일한 0.3, 0.4MPa로 하였다. 에칭용액인 염화철용액의 분사를 PDA 장치로 직접 측정하면 장비의 부식 및 이물질의 부착으로 인한 손상이 우려된다. 유체의 비중과 점도에 관한 연구<sup>8</sup>에 의하면 물의 분무특성으로 염화철용액의 분무특성을 예측할 수 있었다. 따라서 염화철용액을 대신하여 상온의 물을 실험동안 일정한 온도로 유지하여 사용하였으며, 분무특성의 측정값은 PDA 시스템의 측정체적을 통과한 액적 5000개의 평균값으로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 에칭특성과 분무특성의 상관관계

Fig. 2는 에칭계수의 개념을 설명하기 위하여 에칭된 시료의 개략도를 나타내고 있다. 실제 공정

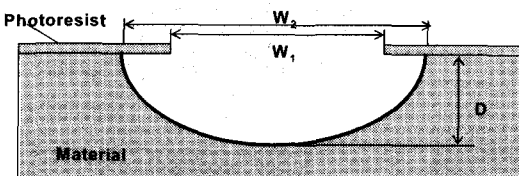


Fig. 2 Diagram of etched material

시 에칭현상은 감광막으로 코팅되지 않은 부분에서만 일어나는 것이 아니라 코팅된 곳의 아래 부분까지 에칭이 진행되는 현상이 발생한다. 이는 에칭이 진행되는 동안 시료의 깊이방향 뿐만 아니라 횡방향으로도 에칭이 진행되는 것을 의미하고 이러한 현상을 언더컷(undercut) 또는 사이드(side)에칭이라고 한다. 이러한 현상은 구현하고자하는 미세 정밀 가공형상에 오차를 발생시킬 뿐만 아니라 전체적인 불량을 유발시킨다. 따라서 정밀한 가공을 위해서는 언더컷이 발생하지 않도록 하는 것이 유리하다.<sup>9</sup> 언더컷에 대한 에칭된 깊이를 수치적으로 나타내며 정밀가공을 위한 척도가 되는 에칭계수는 아래의 식(1)로 표현된다.<sup>3</sup>

$$\text{Etching factor} = \frac{\text{Etching depth}}{\text{Undercut}} = \frac{2D}{(W_2 - W_1)} \quad (1)$$

여기서, D는 에칭깊이를 나타내며 W<sub>1</sub>은 패턴상에 설계된 폭이고 W<sub>2</sub>는 횡방향으로 에칭된 폭이다.

분무특성과 에칭특성에 관한 연구<sup>10-11</sup>에 의하면 분무특성 중 에칭계수와 큰 상관관계를 가지는 것은 충격력으로 제시되어있다. 따라서 에칭계수의 크기와 균일도를 계산하기 위해서 측정된 액적의 속도와 크기로 충격력을 구하였다. 충격력은 액적을 구형이라 가정 했을 때 액적 체적을 이용하여 구한 액적의 질량에 축방향 속도를 곱하여 샘플링 시간으로 나눈 값으로 아래의 식(2)로 표현된다.

$$\text{Impact force} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\pi}{6} d_i^3 \rho U_i}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서,  $\rho$ 는 액적밀도,  $d_i$ 는 액적 직경,  $U_i$ 는 액적 축방향 속도,  $\Delta t$ 는 샘플링 시간을 나타낸다.

Fig. 3은 분무특성인 충격력과 에칭특성인 에칭계수와와의 상관관계를 나타내고 있다. 독립변수가 한 개이고 두 변수 사이의 관계가 직선인 단순회귀에서는 두 변수인 반경방향거리와 충격력간의 n개의 자료  $(x_i, y_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ 에 대해 식(3)과 같은 단순회귀모형을 가정할 수 있다.

$$y_i = \beta + \alpha x_i + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

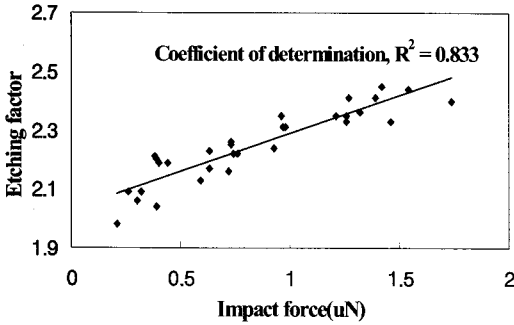


Fig. 3 Correlation between etching factor and impact force

여기서  $\epsilon_i$ 는 오차항으로 독립적으로  $N(0, \sigma^2)$ 를 따르며  $\alpha, \beta, \sigma^2$ 는 추정해야 할 인자이다. 오차의 제곱합을 최소로 하는 최소자승법에 의해 아래 식(4)와 식(5)로 회귀계수인  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 대한 최소제곱 추정량을 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$\beta = \bar{y} - \alpha \bar{x} \quad (5)$$

최소자승법으로부터 추정된 회귀직선은 다음 식(6)과 같다.

$$y = \alpha x + \beta \quad (6)$$

여기서,  $x$ 는 독립변수로 충격력을 나타내고  $y$ 는 종속변수로써 에칭계수를 나타낸다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 2.030과 0.258이다.

회귀모형이 충격력과 에칭계수와의 관계를 어느 정도 잘 표현하였는가를 확인하기 위해서 결정계수법과 F-검정법을 사용하였다. 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. 충격력과 에칭계수의 회귀분석에 따른 결정계수는 0.833으로써 양의 상관관계를 나타내고 있다. 따라서 에칭계수

는 충격력을 통하여 예측할 수 있다.

### 3.2 몬테카를로법을 이용한 분무분포의 모델링

몬테카를로법(Monte-Carlo Method)은 수학, 통계, 공학 등 다른 학문에서도 널리 사용되는 시뮬레이션 기법으로 계산문제에 포함되는 미지량의 파라미터를 갖는 확률변수를 가정하여 랜덤한 표본으로부터 추출된 통계량을 구해 근사적으로 해를 구하는 방법이다.<sup>12-14</sup>

PDA 시스템을 통해 측정되어진 충격력의 분포를 회귀분석을 통하여 분무중심에서부터 반경방향 거리에 따른 분사시의 분포함수로 변환하여 입력값으로 사용하였다. 분무가 측정되는 영역을 10mm x 10mm 크기의 단위 셀로 나누고 각 단위 셀 내부에 충격력의 분포함수에 따라 랜덤한 좌표를 생성하였다. 입자수는 그 좌표에 해당하는 확률분포로 플로팅하여 계산하였다. 랜덤함수에 사용되는 난수는 난수표에 의거하였다.

Fig. 4은 선단거리에 따라서 몬테카를로방법을 통해 모델링된 충격력의 분포를 나타낸 것이다. 분포하는 영역은 선단거리가 증가할수록 커지지만 단위셀 내부의 집중도는 선단거리와 반경방향 거리가 증가할수록 작아졌다. 따라서 넓고 균일한 분포를 가지면서 충분한 에칭력을 가지기 위해서는 적절한 범위의 선단거리를 가져야 한다.

### 3.3 에칭공정의 최적화를 위한 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용되는 시편의 크기는 400mm x 400mm로 고정하였고 시뮬레이션이 종료된 후 에칭계수의 분포를 보기 위하여 시편을 10mm x 10mm의 단위셀로 나눈 뒤 각 셀에 플로팅된 입자

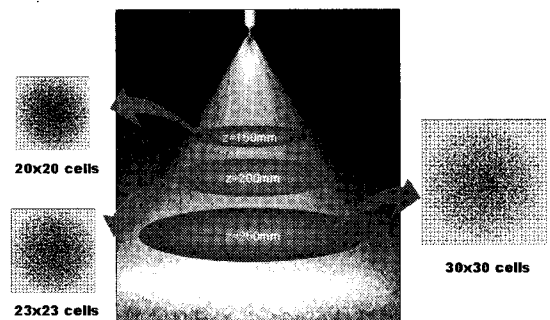


Fig. 4 Modeling of impact force distribution with distance from nozzle tip

수의 평균값을 구하여 전체 시편에 대한 비를 계산하였다. 충격력 분포는 각 셀에서 입자 수로 변환이 되어 에칭계수의 크기와 균일도로 계산되었다. 에칭계수의 크기는 뿌려진 입자수의 대소에 따라 예측되었고, 에칭계수의 균일도는 식(7)로부터 구한 변동계수( $V_c$ )를 통해 계산되었으며 아래의 식(8)로 표현된다. 변동계수는 두 인자의 데이터가 서로 다른 단위를 가지고 있거나 또는 단위는 같지만 평균의 차이가 클 경우의 표본 집단간의 산포를 비교하는 데에 유용하게 쓰인다.<sup>15</sup>

$$V_c = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (7)$$

$$Uniformity = (1 - V_c) \times 100 \quad (8)$$

여기서  $\sigma$ 는 표준편차,  $\bar{x}$ 는 표본평균,  $n$ 은 표본의 수이다.

Table 1과 Table 2는 각각 시뮬레이션이 되는 공정의 고정조건 및 각 챔버에서의 선단거리 조건을 나타낸다. 실제 에칭공정에서는 에칭계수와 균일도가 클수록 집적화된 초정밀제품을 생산할 수 있다. 따라서 에칭계수와 균일도에 상응하는 입자수의 평균과 입자수의 균일도가 높은 수치를 가지는 조건

Table 1 Fixed conditions of simulation

Conditions	Value
Material size (width x length, mm)	400 x 400
Injection pressure, $P_i$ (MPa)	0.3, 0.4
Feed speed, $V_f$ (m/min)	1, 2, 3
Reciprocating velocity, $V_r$ (mm/s)	100
Pipe pitch, $P_p$ (mm)	70
Nozzle pitch, $N_p$ (mm)	200

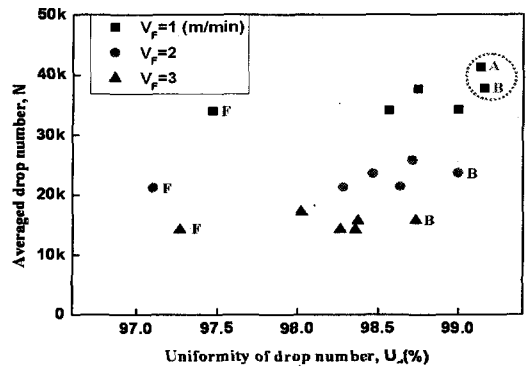
Table 2 Conditions of Composite chamber

Conditions	Distance from nozzle tip (mm)	
	Front Chamber	Rear Chamber
A	150	150
B	150	200
C	150	250
D	200	200
E	200	250
F	250	250

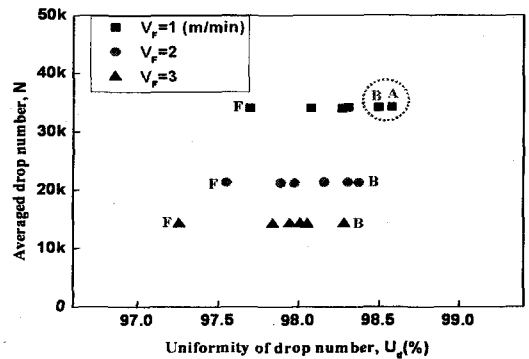
을 시뮬레이션의 최적해로 선정하였다. 시뮬레이터는 분무분포 모델링과 실험계획법에 의한 공정시뮬레이션으로 구성되며 객체지향성이 우수한 Java언어를 사용하여 구현하였다.

### 3.3.1 이송속도와 선단거리에 따른 시뮬레이션

Fig. 5는 챔버의 선단거리 조건에 따라 시뮬레이션을 수행하여 구한 시편 전면에서의 평균 입자수와 입자수의 균일도를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에 적용된 이송속도는 에칭액의 반응성 및 언더컷을 고려하여 1~3m/min으로 선정하였다. 입자수의 평균은 분사압력에 상관없이 이송속도가 1m/min 일 때 크게 나타났으며 이송속도가 증가할수록 감소하였다. 입자수의 균일도는 선단거리에 따른 영향이 컸으며 일반적으로 B조건일 때 높게 나타났다. 특히 분사압력이 0.3MPa일 때 99% 이상의 높은 균일도를 가지는 것으로 나타났다.3.1 절 제목



(a) Spray pressure, 0.3MPa



(b) Spray pressure, 0.4MPa

Fig. 5 Simulation result of distance from nozzle tip with feed speed at  $P_p=70$ mm

### 3.3.2 이송속도와 파이프 피치에 따른 시뮬레이션

Table 3은 시뮬레이션을 수행할 때의 각 챔버의 선단거리 조건 및 파이프 피치에 따른 공정조건을 나타내고 있다. 파이프 피치는 60~80mm의 범위에서 10mm단위로 변화를 주었고 선단거리는 앞서 기술한 조건을 따른다.

Fig. 6은 분사압력이 0.3MPa 일 때, 각 조건에 따라 시뮬레이션을 수행하여 구한 시편 전면에서의 평균 입자수와 입자수의 균일도를 나타낸 것이다. 이송속도가 1m/min일 때 평균 입자수와 균일도는 선단거리가 150, 200mm인 경우가 좋은 결과를 보였으며 파이프 피치가 60mm인 N1, N4조건일 때 가장 높게 나타났다. 이송속도가 2, 3m/min일 때는 선단거리가 200, 200mm인 경우가 다른 조건들보다 좋은 결과를 보였고, 각각 N4조건과 N4, N6조건에서 가장 좋은 결과를 보였다.

Fig. 7은 분사압력이 0.4MPa 일 때, 각 조건에 따라 시뮬레이션을 수행하여 구한 시편 전면에서의 평균 입자수와 입자수의 균일도를 나타낸 것이다. 평균 입자수와 균일도는 이송속도와 파이프 피치가 각각 1m/min, 60mm인 N1조건일 때 가장 높게 나타났다. 균일도는 선단거리 조건이 150, 200mm인 B 조건일 때 평균 98.5%이상으로 높게 나타났다. 다른 이송속도인 경우는 균일도가 상대적으로 낮게 나타났다.

시뮬레이션을 수행한 결과 분사압력에 상관없이 이송속도가 1m/min일 때, 선단거리 조건이 B조건이고 파이프 피치가 60mm인 경우가 높은 평균 입자수를 가지며 균일도가 99%이상으로 높기 때문에 좋은 에칭특성을 가질 것으로 사료된다.

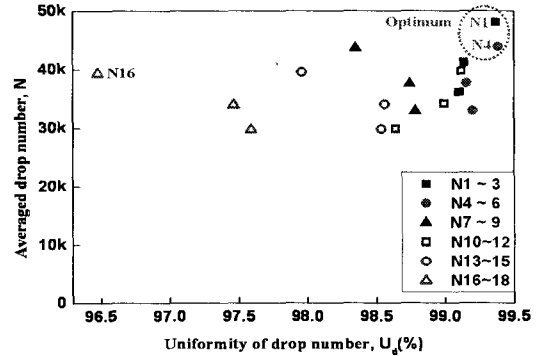
### 3.3.3 에칭공정과 시뮬레이션의 상호상관

실제 에칭공정을 실시한 소재전면에서 얻어진 에칭계수 및 에칭균일도와 시뮬레이션으로 구한 충격력의 평균 입자 수 및 분포 균일도와와의 상호상관을 분석하였다. 이를 위해 동일한 분사조건에서의 에칭계수와 입자 수 및 에칭 균일도와 입자분포 균일도를 대응시켜 회귀직선을 구하였다.

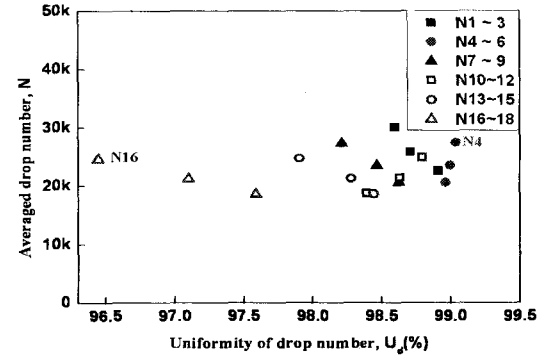
Fig. 8은 에칭계수와 평균 입자 수의 상관관계를 나타낸 것이다. 회귀직선은 아래의 식(9)로 구해졌으며 이 때의 결정계수( $R^2$ )는 0.99로써 높은 상관관계를 나타내었다.

Table 3 Conditions of simulation with pipe pitch

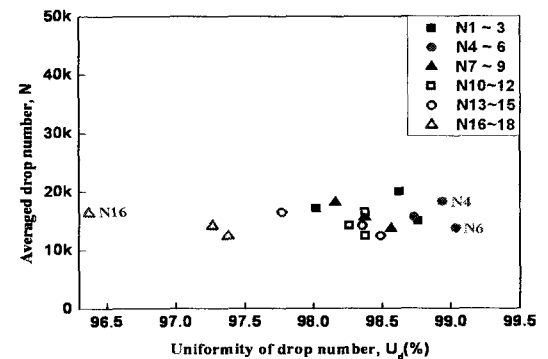
Condition Pp (mm)	A	B	C	D	E	F
60	N1	N4	N7	N10	N13	N16
70	2	5	8	11	14	17
80	3	6	9	12	15	18



(a) Feed speed, 1m/min

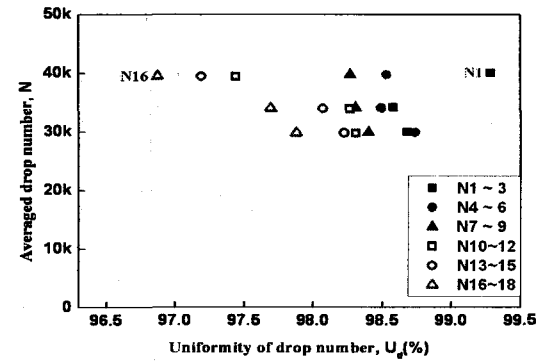


(b) Feed speed, 2m/min

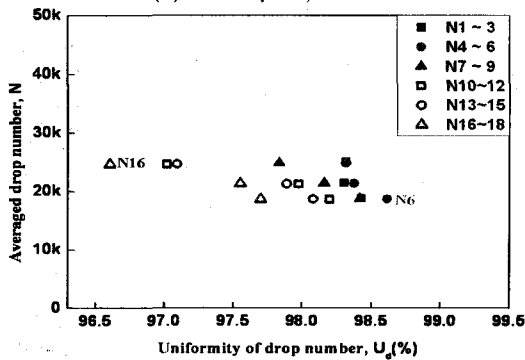


(c) Feed speed, 3m/min

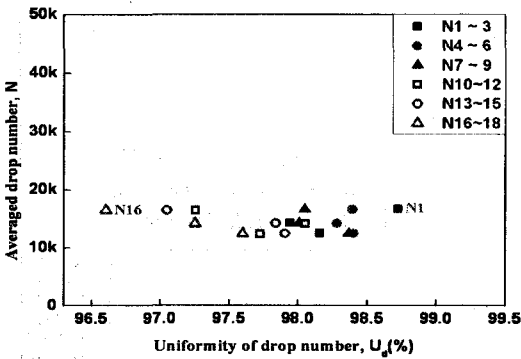
Fig. 6 Simulation result of distance from nozzle tip with pipe pitch at P=0.3MPa



(a) Feed speed, 1m/min



(b) Feed speed, 2m/min



(c) Feed speed, 3m/min

Fig. 7 Simulation result of distance from nozzle tip with pipe pitch at P=0.4MPa

$$E_F = 1.436 \times 10^{-8} N^2 - 4.38 \times 10^{-4} N + 5.731 \quad (9)$$

Fig. 9는 에칭균일도와 입자 수 분포의 균일도와의 상관관계를 나타낸 것이다. 회귀식은 아래의 식(10)으로 구해졌으며 이 때의 결정계수(R2)는 1로써 높은 상관관계를 나타내었다.

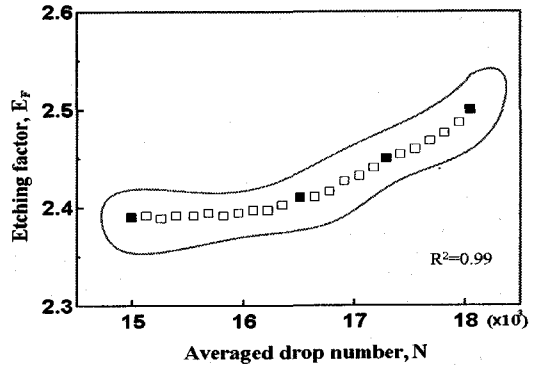


Fig. 8 Correlation between etching factor and average drop number

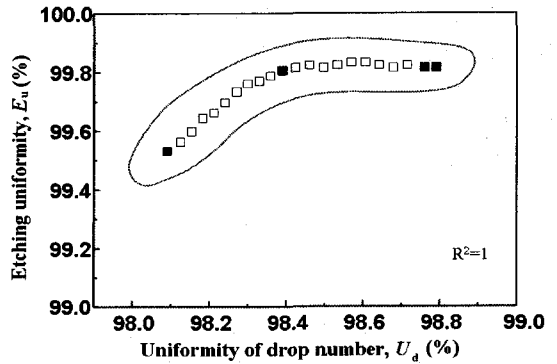


Fig. 9 Correlation between etching uniformity and uniformity of drop number

$$E_u = 1.93U_d^3 - 572.57U_d^2 + 56479.76U_d - 1.857 \times 10^6 \quad (10)$$

따라서 에칭특성중 에칭계수는 충격력의 평균 입자수를 식(9)을 통해 예측할 수 있으며 에칭균일도는 입자수분포의 균일도를 식(10)을 통해 예측할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 몬테카를로법을 통해 모델링된 분무분포특성은 선단거리가 증가할수록 분포영역이 커졌고 단위 셀내의 분포도는 선단거리와 반경방향거리가 증가할수록 감소하는 경향으로서 측정된 분무특성과 잘 일치하였다.
2. 파이프피치가 60mm인 경우, 평균 입자수는 이송

속도가 1m/mm일 때 크게 나타났으며, 균일도는 선단거리가 증가할수록 감소하는 경향이었으며 이송속도에 상관없이 전반적으로 B조건일 때 높았다.

3. 평균 입자수와 균일도는 이송속도가 1m/min일 때 가장 높게 나타났다. 또한, 분사압력 0.3MPa이고 선단거리 조건이 150, 200mm의 조합인 A, B 조건일 때 99% 이상의 높은 균일도를 보였다.
4. 본 연구의 결과를 종합해 볼 때 시뮬레이션을 수행하여 얻은 최적의 공정조건은 분사압력 0.3MPa, 선단거리 150, 200mm, 이송속도 1m/min, 파이프 피치가 60mm일 때임을 알 수 있다.
5. 에칭특성은 몬테카를로법과 에칭공정을 Java언어로 구현한 시뮬레이터를 통해 예측할 수 있었다.

본 연구를 통해 나온 결과를 기초로 에칭공정의 설계문제제의 확장도 가능하며 회귀분석된 식에 다소 편차가 있다고 하더라도 에칭공정의 최적화를 할 수 있을 것으로 예상된다.

### 참고문헌

1. Abate, K., "Photochemical Etching of metals," *Metal Finishing*, Vol.98, No. 6, pp. 414-417, 2000.
2. 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.
3. Allen, D. M., "The Principles and Practice of Photochemical Machining and Photoetching," Adam Hilger, Bristol and Boston, 1986.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Ueda, R., Toki, S., Tanizaki, Y., Sugiura, T. and Asakura, S., "Principles of Photoetching in the Fabrication of Fine-Pitch Lead Frames," *Metal finishing*, Vol. 92, No. 1, pp. 29-31, 1994.
8. 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.
9. Ball, D., "Fine Line Etching of Lead Frames," *The journal PCMI*, Vol. 63. pp. 29-31, 1996.
10. Jung, J. W. and Kim, D. J., "A Study on Effect of Spray Characteristics on Etching Characteristics in Micro Fabrication System," *Transactions of the KSME, B*, Vol. 28, No. 1, pp. 109-117, 2004.
11. Jung, J. W., Kim, Y. J. and Kim, D. J., "Correlation Between Spray Characteristics and Etching Characteristics in Twin Spray," *Transactions of the KSME, B*, Vol. 28, No. 4, pp. 449-455, 2004.
12. Goo, B. C. and Seo, J. W., "Probabilistic Fatigue Life Evaluation of Rolling Stock Structures," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 5, pp. 89-94, 2003.
13. Badano, A., Flynn, M. J., "Monte Carlo Modeling of Glare in CRTs for Medical Imaging," *Society for Information Display*, Vol.29, pp.495-504, 1998.
14. Yoo, H. K., Kang, D. K., Lee, S. W. and Gweon, D. G., "Error Analysis and Alignment Tolerancing for Confocal Scanning Microscope using Monte Carlo Method," *Journal of the KSPE*, Vol.21, No.2, pp.92-99 1225-9071, 2004.
15. Go, S. G., Go, Y. H. and An, B. J., "Representation of Data," *Statistical Quality Control, Part 2*, pp. 14-17, 2000.