



병렬 노즐 분사의 ITO 표면 포토레지스트 박리 조건에 관한 해석

김준현^a, 고희호^a, 이기성^b, 주기태^b, 김용성^{b*}

Investigation for Photoresist Stripping Conditions on the ITO Surface by the Multi-Spray Method

Joon Hyun Kim^a, Hyoung Ho Ko^a, Ki-Seong Lee^b, Gi-Tae Joo^b, Young Sung Kim^{b*}^a Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science & Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea^b Graduate School of NID Fusing Technology, Seoul National University of Science & Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	12	October	2017
Revised	22	November	2017
Accepted	4	December	2017

Keywords:

Aqueous stripper
ITO-Glass
Nozzle
Photoresist
Spray
Stripping process

ABSTRACT

Chemical stripping mechanisms are important because they are fundamentally involved in the rate of reaction of bonding and decomposition of materials. The stripping mechanism of a spray technology penetrates or removes a photoresist (PR) material on the indium tin oxide surface. It is the impact force produced by the velocity and mass of the stripper reaching the surface. The mechanisms in which a PR material is agitated or removed by proper liquid movement are dependent on material properties (e.g., viscosity) and conditions (e.g., temperature). Simple tests and numerical analysis have been conducted to determine the performance of a spray on PR materials exposed to a solution-type special stripper. The results performed to compare the impact force as varied by nozzle shape, spray distance, velocity, and flow rate to determine the relationship of the impact force to the performance in material removal.

1. 서론

반도체 집적 회로 또는 액정 표시 소자의 미세 회로 제조 공정에서 기판 위에 일정한 패턴을 형성하는데 포토리소그래피(photo-lithography) 공정이 널리 이용되고 있다. 이러한 포토리소그래피 공정은 일반적으로 기판 상에 형성된 금속 및 금속산화물 전극층에 포토레지스트(photoresist, PR)를 균일하게 도포하고 이것을 선택적으로 노광, 현상 처리하여 PR 패턴을 형성한 후 패턴화된 PR 막을 마스크로 하여 금속 및 금속산화물 전극층을 에칭하게 된다. 이후 불필요해진 PR 층을 박리액으로 제거하는 단계로 진

행하게 된다^[1].

여기서 사용되는 박리액은 단시간 내에 전극층을 손상없이 PR를 박리할 수 있고 기판 상에 PR 잔류물을 남기지 않는 우수한 박리 능력을 가지는 것이 중요하다. 이를 위해, 이전의 유기계 박리액은 환경적으로 유해한 다수의 유기 물질을 포함하고 있다. 최근 박리액 사용량이 급격히 증가하면서 박리액으로 인한 강한 독성 및 환경오염 문제 등으로 인한 문제가 발생하게 되었고, 유기계 박리액 사용에 대한 환경 규제 역시 강화되고 있는 실정이다^[2].

현재 사용되는 박리액은 성능 여건상 유기계가 주종을 이루고 있으나, 점차 수계의 비중이 증가하고 있다. 이와 함께 수계가 가지

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6804

Fax: +82-2-970-6011

E-mail address: youngsk@seoultech.ac.kr (Young Sung Kim).

는 근본적인 부식문제와 화학적인 PR의 박리성능 저하 문제를 동시에 해결하기 위한 많은 결과들이 발표되고 상용화하는 수준에 이르고 있다³⁻⁸⁾.

특히, 유리에 증착된 전기전도성을 갖는 투명 전극인 ITO (Indium Tin Oxide)위에 흡착되어 있는 포지티브 톤(positive tone)의 PR은 diazonaphthaquinone (DNQ)가 기본으로 되어있는 감광 구조의 합성수지이다. 이러한 구조는 하나의 폴리머가 다른 폴리머를 연결하는 결합(cross-linking)으로 이루어져 있어서 열이나 화학적인 조건에 민감한 변화를 하게 되어 있다^{1,4)}. 그리고 친수성 polar를 가지고 있어서 수용성으로서 PR 박리과정이 단산 / 염기 중화하는 환경에서 화학적으로 PR의 폴리머 구조로부터 연결 체인을 끊어내어 분리 또는 분해해야한다.

근본적으로 PR은 산성이며, 박리 공정은 이 산성을 중화시키고, 중화의 과정에서 PR 박리 용액의 알칼리도가 소모된다. 중화된 PR 단편(fragment)은 박리 용액에 용해되거나 분산된다. 박리의 품질과 속도는 박리용액에 포함되는 중화제의 종류와 함유 비율 등에 의해 결정되게 된다. 또한, 박리액 조성물과 박리용액의 사용 조건의 규제, 사용 후 발생하는 폐액의 처리 또는 정제 문제까지 추가 고려하게 되었다⁹⁾.

이와 같이 박리액의 다변화된 사용 환경으로 나타나는 박리 품질의 넓은 분산을 위해 화학적인 요소 외에도 표면층 가까이 활성화할 수 있는 모든 요소 (예로써 온도와 시간 등의 물리량)를 고려할 필요성이 있다. 현재 많은 현장에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 설치를 하면서 동시에 반복적인 최적 적용 작업을 거쳐 필요한 사용 환경을 구축하고 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 디스플레이 패널에서 요구되는 PR 제거 공정에 적용하기 위해 노즐 분사를 사용하여 박리표면층을 활성화 할 수 있는 공정 조건(물리량)을 검토하고자 한다. 일정 거리를 두고 동시에 이루어지는 노즐 분사 시 일정 온도를 가진 박리액의 유동에 대한 견실 설계를 수행하였다. 이때, 노즐의 사양 적용 범위, 박리 용액의 사용 범위 등과 같은 공정조건들을 전산모사로 확인한 조건과 실제 박리실험의 결과와 비교하여 확인하였다.

2. 노즐의 선택 및 적용범위

현재 분사기술은 대부분 노즐을 사용하고 있다. 사용 목적상 필요한 분사 형태를 만들어내기 위해 필요한 적절한 분사량과 분사 각을 갖는 오리피스스의 토출 모서리를 Fig. 1과 같이 설계한다. 이때, 각과 흐름 주어 다양하게 적용하거나 노즐 내, 외부에서 2상 흐름 형태의 적절히 변화를 주어 사용하고 있다. 또한 노즐 내부에서 원심력 유동을 발생시켜 오리피스스 토출 모서리로부터 이루어지게 되어 원뿔형의 분사 형태를 유지하게 하여 다양한 적용을

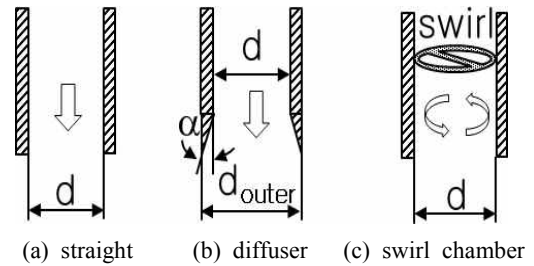


Fig. 1 Typical orifice edges of nozzles to generate different spray patterns

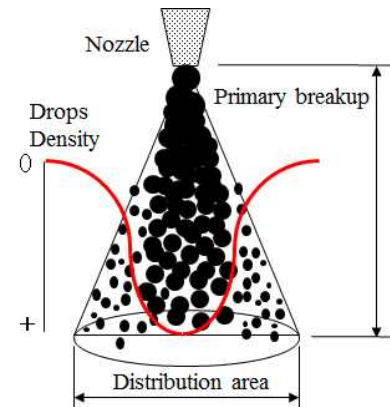


Fig. 2 Typical primary breakup distribution of spray

하고 있다¹¹⁾.

액상 분사의 형성은 Fig. 2와 같이 기체상태의 주변 환경과의 상호 작용을 거쳐 움직이는 액적의 집합체로 이루어진다. 이러한 형태의 일반적인 분사는 오리피스스 토출로부터 이루어지는 연속적인 액체의 중심 흐름에서 액적의 이탈로 이루어진다.

액상의 분사과정은 연속 흐름체에서 액적의 분리 형태로 이루어지는 부분으로 구분하고 있다. 토출되는 부분의 중심 흐름주위는 크기와 높은 액적 밀도를 가지게 되고, 반대로 가장자리 주변으로 진행될수록 그리고 노즐 출구로부터 거리가 멀어질수록 낮은 밀도로 나타난다.

1차(primary breakup) 영역은 Eq. (1)의 수정 웨버 수 (밀도 ρ , 속도 v , 직경 d , 표면장력 σ)로 오리피스스를 통과하여 분사되는 액적 흐름은 표면장력에 작용하는 내, 외적 힘 크기로 설명될 수 있다. 점성, 표면장력에 영향을 주는 온도, 압력에 의한 토출속도 그리고 오리피스스 직경 등이 1차 breakup영역의 변화를 초래한다.

$$We = \rho v^2 d / (8\sigma) \tag{1}$$

친환경을 위한 사용 목적으로 화학적 사용 환경의 규제가 엄격해지고 있는 여건에서 짧아지는 박리공정 시간과 낮은 박리액 사용 온도라는 효율적 사용이 반드시 필요하다. 또한 고가의 박리액 소모량을 최대한 억제해야 하며 또한 박리 조성물에 다양한 첨가제가

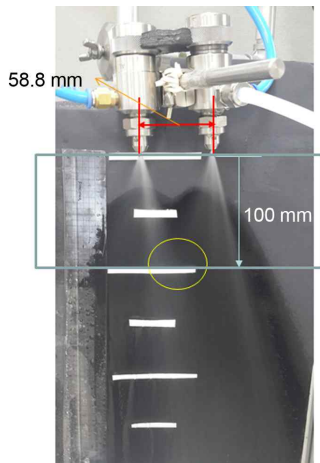


Fig. 3 Spray distribution using a KTG 1 model with inside swirl developer (d = 0.8 mm, 1 bar working pressure)

추가됨으로써 물성의 변화도 불가피하다.

노즐 종류는 원뿔 (full cone) 형태의 액적 분사 형태를 제공하는 노즐(모델명 KTG)이 선택되며 오리피스 직경은 (0.8 mm에서 1.2 mm), 토출 분사속도(작동압 1 bar 기준에서 생성), 그리고 분사각 (35° 이상 형성) 등을 고려하여 나타나는 1차 breakup 범위 내에서 결정된다.

Fig. 3은 원뿔형 노즐을 사용하여 형성되는 액적의 형성 모습이다. 두 노즐 사이의 간격은 58.8 mm로 Fig. 1(c) 형태의 노즐 구조를 가지고 있다. 여기서 형성되는 1차 breakup은 가시적으로 60 mm 이내로 볼 수 있으며 충분히 100 mm 이내로 판단된다. 또한 형성되는 분사각은 35° 수준으로 100 mm 이후에 중첩된다.

분당 1 L 이내의 소모량을 위한 유동율을 적용하는 노즐을 사용하고 샘플 표면의 박리작용에 유리한 물리량(속도 및 온도유지)을 얻기 위해서 최대한 1차 breakup 수준에서 초기 액적을 유지하고 분사거리를 최소 유지하면서 분사각을 가지는 방안을 고려한다.

3. 박리용액의 사용범위

본 연구에 적용한 박리액은 친환경적으로 친수성 OH 기에 따른 수계 용해도가 우수하고 친유성 거대 고리 존재에 의한 PR 잔사의 포집 효과 또한 우수하여 박리 후 감광제 등 특정 성분을 추출하여 수계의 박리제로 재사용할 수 있어 폐기물 감소 등의 효과를 기대할 수 있게 조성되는 생분해성 박리액인 EO-DS7019를 대상으로 하였다^{4,10}.

조성물은 Table 1과 같이 염기성화합물, 유기용매, Cyclo-dextrine (CD) 그리고 물 등으로 구성되어 있다. 이 용액의 물성은 전체적으로 물의 성질과 유사하나 점성과 표면장력은 물보다 높은 편이다.

Table 1 EO-DS7019 composition

Basic Compound	THFA	CDs	BTZ	Water
weight (%)	weight (%)	weight (%)	weight (%)	weight (%)
21	8	4	1	66

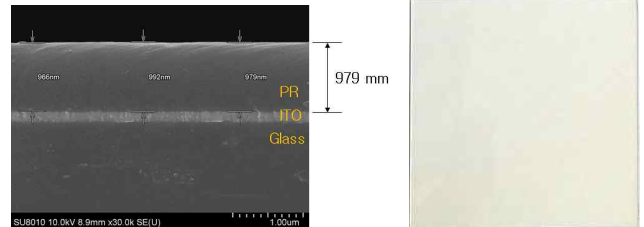


Fig. 4 Sectional dimension of PR layer of a sample and surface color on PR coated ITO-glass

PR의 종류는 포지티브형으로 AZ 계열이 적용되었다. 단면 SEM 측정 사진인 Fig. 4와 같이 PR은 평균 979 nm 두께로 통상 150-200 nm 두께의 투명 전극층인 ITO 위에 코팅되어 있으며 ITO 표면의 거칠기와 열전달 수준 등은 거의 글라스와 유사하다. 표면의 색상은 우유 빛 색상을 띄고 있다. 네가티브형 PR에 비해 접착력이 떨어지나 최소 특징(feature)이 0.2 nm 수준까지 가능할 정도로 얇다. 따라서 분해 정도가 빠르게 진행이 가능하다. 실험은 50 s의 박리 지속시간과 박리액의 사용온도를 45°C까지 유지시켜 사용했다.

통상적으로 박리과정은 박리액이 PR 내로 침투(penetrastion)하여 팽창(sewlling)시키고 분해(dissolution)하는 과정을 거친다. 이를 간단하게 확인하기 위해 PR이 코팅된 ITO-glass를 40 mm × 40 mm로 절취하여 만든 샘플을 45°C를 유지하는 박리액을 담은 비커에 담핑하거나, 1 bar 사용 압력을 사용하여 단일 노즐을 통하여 50 mm 분사거리를 두고 정해진 시간 동안 분사한 후 세정하여 샘플의 표면 박리상태를 점검하였다.

Table 2의 박리된 결과는 기본 조성물에 추가로 초순수를 1.5:1 비율로 희석시켜 사용한 것이며 20-50 s까지 진행되는 담핑 상태에서 얻어진 샘플을 세정하여 관찰한 박리결과를 보면 거의 50 s 수준에서야 swelling 단계가 천천히 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

담핑과 분사가 병행된 결과를 보면 담핑이 30 s 분사가 20 s 이루어진 경우의 일부 잔사를 제외하면 대체로 박리가 양호하다. 간단한 실험을 통하여 1 um 두께 수준의 포지티브 PR 박리 환경에서는 박리온도는 최소 40°C까지도 적용 가능한 조건임을 알 수 있다.

Table 2의 담핑과 분사 박리방식을 혼용한 경우 ITO-글라스를 자외선 가시광선 투과도를 측정된 결과 Fig. 5처럼 녹색의 550 nm 파장 대에서 전체적으로 85% 이상의 투과성을 나타내었다.

Table 2 Images of the sample surface after PR stripping process with different method

Strip temp.	Dipping time only			
	20 s	30 s	40 s	50 s
45°C				
45°C	Dipping + spraying time			
	30 + 20 s	20 + 30 s	10 + 40 s	0 + 50 s

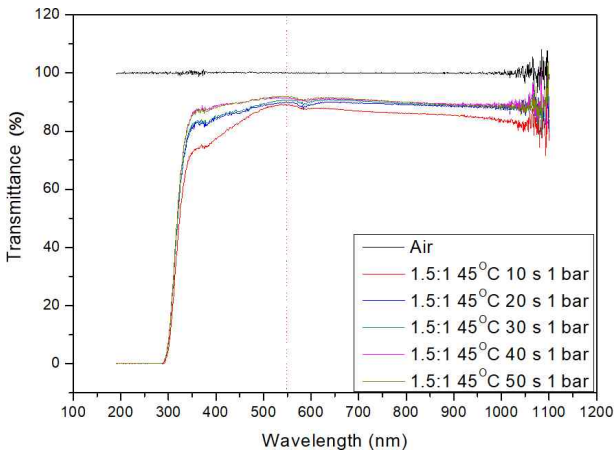


Fig. 5 UV transmittance measurement of dipping and spraying strip cases in Table 2

Table 3 Transmittance of ITO glass (before stripping)

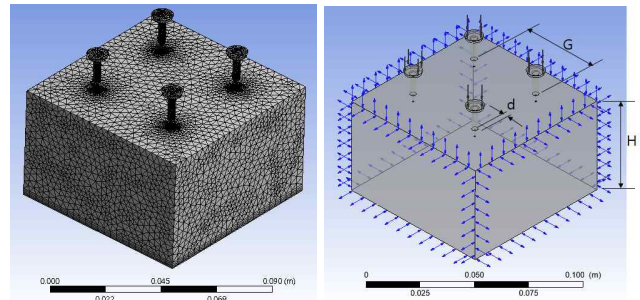
Wavelength	Transmittance (%)	
	ITO-glass (with PR)	ITO-glass (without PR)
550 nm, green	82.604	90.382
Average (400 - 800 nm)	81.988	86.306

Table 3은 박리를 진행하기 전인 PR을 가진 ITO-glass와 PR을 가지지 않는 순수 ITO-glass의 투과도 비교표로서 Fig. 5에서 박리가 진행된 이후의 투과도와 비교에서도 차이가 있다. 즉, 이물질이 잔존하는 경우 UV 투과도 특성치는 PR없는 ITO-glass 투과도보다 떨어짐을 알 수 있다.

4. 수치 해석 방법 및 결과

4.1 해석 방법

노즐에서 분사되어 ITO 표면까지 이루어지는 분사 액적 거동은



(a) Mesh (b) Setup

Fig. 6 CFX pre-procedure

Table 4 Boundary conditions for the CFX pre-processing

Control parameters	Condition values
Fluid model	1. Stripper as a dispersed phase 2. Air as a continuous phase
Turbulence model	k-e model
Inlet	1 bar 40°C liquid volume fraction (100%)
Opening	25°C liquid volume fraction (0%)
Wall	No slip, smooth wall, adiabatic

Table 5 Physical properties of fluids (T=25°C, p=1 atm)

	ρ (kg m ⁻³)	μ (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)
Air	1.185	1.831e-5	1004.4	2.61e-2
Stripper	1,000.15	0.001421	4009.9	0.5923

Fig. 2와 같이 이루어지는 1차 breakup에 적합한 volume of fluid (VOF) 모델을 채택하여 기상(air)은 연속적인(continuous) 상으로 액상(stripper)은 분산(dispersed) 상으로 처리했다. 이 둘 두 유체는 계산 영역에서 셀 당 차지하는 체적율을 고려하여 각각의 지배방정식에 적용된다.

VOF 모델의 유효한 적용과 효율적인 impact를 갖기 위해 미세 입자가 본격적으로 발생되기 전 단계에서 이루어 질수 있도록 전술한바와 같이 Fig. 6의 분사 거리(H)를 최대 50 mm 이내, 노즐 간격(G)를 50 mm 수준으로 하고 Weber 수를 300 이하로 하기 위해 노즐 팁 직경(d)를 1.2 mm 이내로 제한했으며 토출 속도는 6-18 m/s 수준에서 이루어지게 노즐 사양을 고려했다.

노즐은 Fig. 1과 같이 원뿔형 분사가 가능한 오리피스 모서리를 가진 형태와 내부 선 회류를 발생시킬 수 있는 구조가 채택되었다.

Fig. 6과 같이 노즐 4개에서 분사되는 영역을 4각형 형태의 계산 영역을 설정했다. 계산영역에서 노즐 부분이 외부로 노출되고 특히 선회류 발생 부분이 대칭형이 되지 않는 관계로 대칭(symmetry)

경계 모델이 적용되지 않았다.

일부 급격하게 변하는 물리적 변화량을 고려하여 전체적으로 조밀한 격자를 이용했으며 특히 노즐 내부와 출구 주변을 위해 비균 등 간격 격자를 사용했다. 그리고 하부 샘플의 표면(wall) 주위는 inflation을 적용했다. 지배방정식들의 수렴 조건의 residual target 은 10^{-4} 으로 설정했다.

Fig. 6(b)와 같은 경계조건은 Table 4의 내용으로 설정되었다. 주입구와 바닥면을 제외하고는 모두 opening으로 처리되었으며 그리고 사용된 두 유체의 물성값은 Table 5에 정리되었다. 온도에 따라 변하는 stripper 용액의 물성값들은 사용 범위(40°C) 내에서 측정된 결과를 감쇠지수 식으로 표현하여 추가하였다.

4.2 해석 결과

4.2.1 병렬 구조의 표준 straight 타입 분사거동

Fig. 1(a) straight 타입의 노즐을 적용하고 토출 오리피스 직경이 $d = 0.8 \text{ mm}$ 이면서 1 bar 작동 압력이 적용하게 되면 유량율은 분당 960 mL 정도이며 이에 상응되는 토출 속도는 16 m/s 수준이 된다. 이 토출속도를 맞추기 위해 1 bar 작동압력에 대응되는 주입 속도 0.05 m/s를 사용했다.

표준 적용 모델을 위해 가장 계산적으로 안정적인 straight 타입과 노즐간 거리(G) 40 mm 그리고 분사거리 (H, 1차 breakup 영역)를 50 mm로 설정하였다. Fig. 7의 속도와 온도 분포 형상을 보면 core 흐름을 이루는 부분이 40° 수준의 분사각(θ)을 이루고 있으며 샘플 표면위에 도달 한 후 방사형 방향으로 2-3 mm 두께 수준의 경계층 흐름을 유지하면서 거동했다.

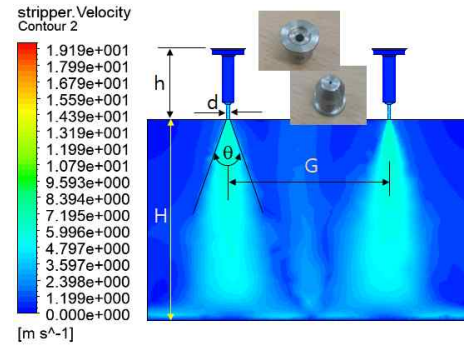
또한 오리피스로부터 최초 토출되는 동안 Eq. (1)과 Eq. (2)에서 정의되는 수정 Weber 수와 액적 크기(d_0)를 예측해보면 55.3과 787.2 μm 수준으로 40° 수준의 분사각 범위 내에서 예상된다. 이는 초기 생성되는 액적 크기를 의미하며 점차 오리피스 주변 부분의 액상(stripper)을 제외하고는 확산되면서 크기가 작아지면서 전체적으로 낮은 체적율을 나타내게 된다.

$$d_0 = 167.64 \frac{d}{8} We^{-0.74} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{1/n} \quad (2)$$

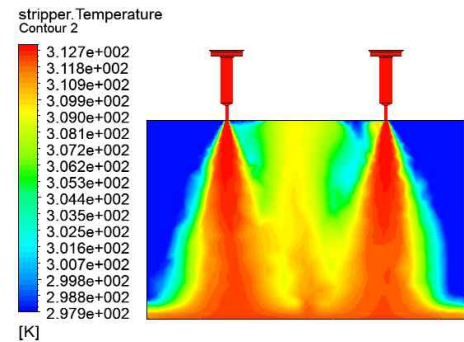
여기서 $n = 3.5$ 는 단일 상에 해당되는 노즐 변수이다.

이와 같이 일정 이상의 Weber 수와 액적 크기는 breakup length에 따른 입자 형성과 샘플 표면 위에 도달하게 되는 충돌 힘 (impact force)으로 분류하여 분석 가능하다. 현재의 Weber수는 입자 발생이 가능한 분류 기준이다. 그러나 중앙 부분은 초미립자 발생 수준이 아닌 단계인 breakup length 내에서 원래 액적 크기를 유지한 채로 충돌을 하게 되어 있다.

단, 목표 부분의 분사영역을 확보하기 위해 필요한 분사각과 일



(a) Velocity profile



(b) Temperature profile

Fig. 7 Vertical contours for 0.8 mm orifice diameter and 0.05 m/s input velocity (equivalent to the working pressure)

정치 못한 입자의 밀도는 노즐 팁 및 병렬 배치로 해결 할 필요가 있다. 노즐 4개를 갖는 해석 모델의 opening 경계에서 액상이 차지하는 체적율은 매우 낮은 것으로 처리하는 대신에 노즐 간 사이 영역 에서는 병렬의 배치 효과가 있음 알 수 있다. 노즐 사이의 미립자의 중첩 비산과 같은 효과가 대표적이다.

박리액의 사용 온도 조건을 40°C로 낮추는 경우, Fig. 7(b)의 온도 분포를 보면 액적 거동과 유사하게 샘플 표면 위의 경계층 흐름으로 전환되어 가는 과정에서 충분히 동일한 온도로 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이 부분은 PR의 박리 품질을 좌우하는 화학적 활성화가 온도에 비례되는데 열의 손실을 고려하여야 하기 때문에 분사거리를 크게 늘리거나 초미립자 형태로 분사하는 방식을 적용할 수 없는 이유이다.

Fig. 8은 표준 사용 조건일 때 수평적 단면을 통해 액적 거동의 흐름 속도와 온도의 분포이며, 샘플 표면으로부터 각각 1 mm, 2 mm, 3 mm 높이에서 각각 형성되는 분포이다. 이미 간단한 딥핑과 분사 실험을 통하여 박리가 진행되는 정도를 평가했을 때처럼 온도에 매우 민감하여 표면 가까이 접근할수록 전체 표면의 온도가 주입 온도에 가까이 이루어지고 있는 부분이 중요하다.

속도 분포 또한 충돌 직후 부분과 중앙 대칭적으로 만나는 부분을 제외하고는 흐름 두께 2 mm 이내 수준에서 충분히 최소 4 m/s 이상을 보여주고 있다. 액적이 그대로 충돌되는 영역 포함 전체 영

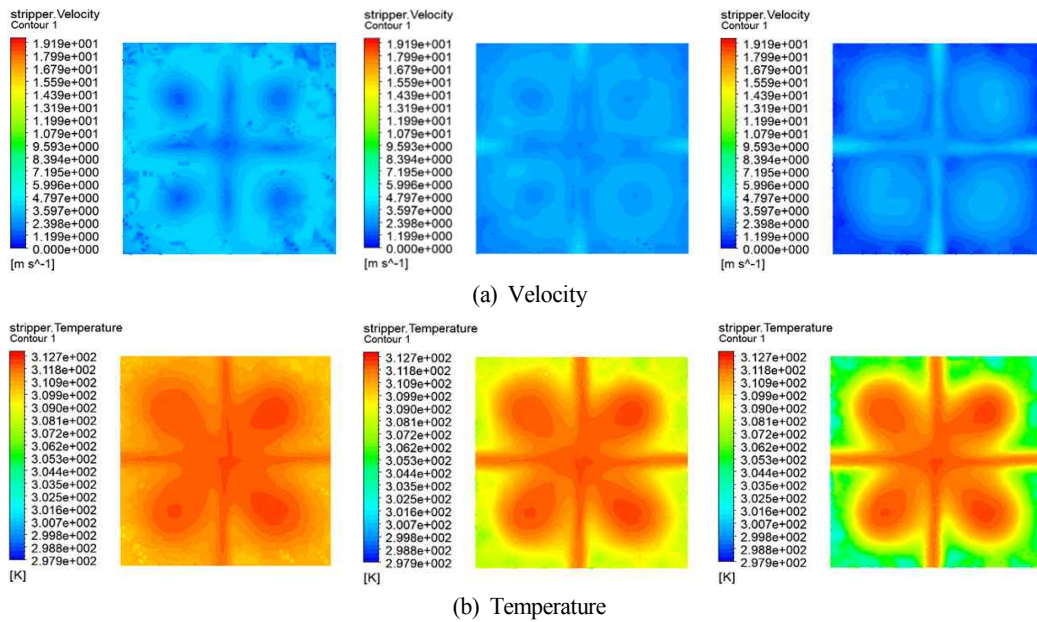


Fig. 8 Horizontal contours for 0.8 mm orifice diameter and 0.05 m/s input velocity (at 1, 2, 3 mm distance from the bottom surface from the left in figures)

역(현재 설정 조건에서는 25 mm²)에서는 충분히 화학적으로 2차 결합이 약해진 부분을 점성과 표면장력 등의 물리적인 힘으로 박리 효과를 기대할 수 있다.

4.2.2 충돌 힘의 비교분석

충격힘은 일정 거리에서 유체의 흐름으로 물체의 표면위에 미치는 힘이다. 분사에 의한 방식으로 이론적인 힘을 초과할 수 없으며 그리고 동일한 유동율과 압력을 부여 받으면 모든 방식은 Eq. (3) 과 같이 동일하게 된다.

$$F_{impact\ Force} = \dot{m}v = \rho\dot{Q}v \quad (3)$$

여기서 ρ 는 밀도이며 v 는 속도이다. 분사 방식에 의한 충격량 제어는 시간당 질량의 유동율(\dot{m})과 속도 등으로 좌우된다. 여기서 시간당 질량의 흐름은 밀도와 시간당 체적의 유동율(\dot{Q})로 볼 수 있다.

분사방식에 의한 Eq. (3)의 이론값은 실제적으로 분사각, 액적 크기, 작동 압력, 공기와의 마찰 수준 등으로 다양하게 나타나는 속도에 의하여 영향을 받는다. 큰 액적은 오피피스 출구로부터 멀리 속도를 유지하게 하고 온도를 유지할 수 있는 조건을 가지게 되며 충격량에서도 유리하다. 이러한 점을 고려하여 Eq. (4)와 같은 식으로 보정하여 사용하고 있다.

$$F_{impact\ Force} = 0.235\dot{Q}\sqrt{p} \quad (4)$$

여기서 시간당 체적의 유동율은 L/min 단위이며 압력(p)은 bar 단

위이다. 그러나 Eq. (4)은 분사형상에 있어서 중심선을 따라 형성되는 부분의 결과만을 토대로 작성되었기 때문에 에너지 손실이 크게 반영되지 않았다.

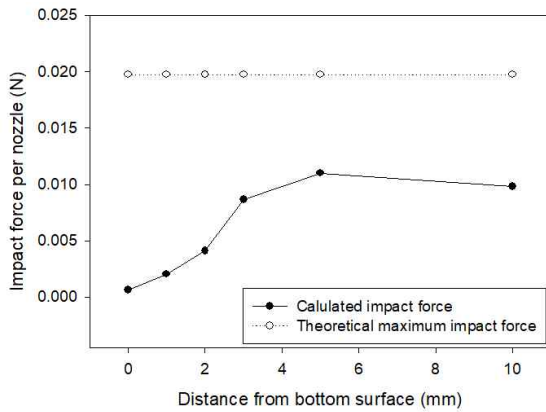
Fig. 9(a)와 Fig. 9(b)는 노즐의 표준 사양 조건에 따라 계산된 결과인 유동율과 속도에 의한 충격힘으로 샘플 표면으로부터 거리에 따라 이루어지고 또한 Eq. (3)의 이론적인 힘과 비교하여 제시되었다. Eq. (3)의 계산은 단일 액상 거동의 결과인 최대값을 의미하며 에너지 손실이 없다.

노즐은 표준 straight 타입으로 직경 0.8 mm가 사용되었다. 오리피스로부터 멀어질수록 점차 마찰에 의해 함께 거동되는 공기의 거동이 포함되어 충격힘에 변화를 줄 수 있다. 그러나 breakup이 진행됨에 따른 액적이 비산 하는 등의 영향과 샘플 표면에서 반동되어 이루어지는 흐름 영향 등으로 표면 가까이에서의 수치적인 충격값은 낮게 나타나고 있다. 따라서 이 부분은 표면과의 충돌과 충돌 이후의 영향을 충분히 고려하지 못한 이유로 볼 수가 있다.

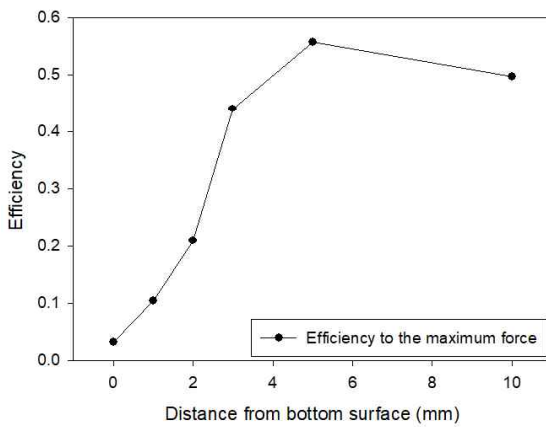
적어도 속도가 급격히 저하되지 않거나 액적이 크기가 초미립자 형태로 가지 않는 이상 breakup 영역 내에서는 충격량을 보존할 수 있다. 또한 Fig. 9(b)에서 효율성면에서도 표면 가까이 5 mm까지 접근했을 시에도 최대 대비 50% 수준을 기대할 수 있다.

4.2.3 Swirl 흐름의 분석

Fig. 10은 표준 straight 타입 노즐 내부에 swirl 발생 장치를 넣고 토출 tip을 10° 기울기로 확대하여 최종 토출 직경을 1.2 mm으로 하고 주입압력을 1 bar, 노즐 간 간격을 40 mm, 그리고 분사 거리를 40 mm로 했을 때 분사형성의 계산 결과이다. 노즐 내부에



(a) Impact forces



(b) Efficiency (to the maximum theoretical impact force)

Fig. 9 Impact forces and efficiency at different standoffs from the bottom surface

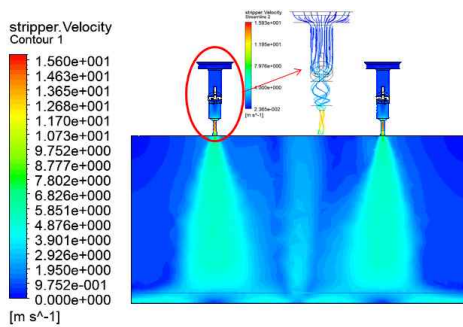


Fig. 10 Vertical contours and stream line for 1.2 mm orifice diameter (with 10 degree exit diffuser and inside swirl) and 0.1 m/s input velocity

서 발생한 원심력에 의해 형성되는 흐름은 토출 이후에 미세하게 40° 이상인 분사각과 고른 분사 형태에 영향을 주지만 straight 타입과 토출 속도를 제외하면 외형상 분포모양으로는 차이가 크지 않다.

Fig. 11은 앞선 조건과 각각 0.05 m/s와 0.1 m/s의 주입속도를 적용했을 때 샘플 표면으로부터 높이가 1 mm, 2 mm, 5 mm인

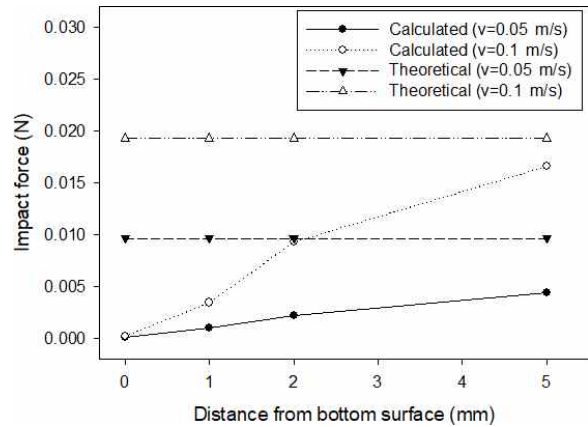


Fig. 11 Impact forces at different standoffs from the bottom surface (with swirl generation inside nozzle)

지점에서 충격량을 계산한 결과이다. 미세하지만 오리피스 출구 이후 아래로 진행되는 액적 분포는 swirl 방향의 흐름 영향으로 액적의 발생과 거동 등으로 차이로 존재하며 충격힘에도 영향을 줄 수 있다.

샘플 표면 가까이 근접 할 때 (표면 위 2 mm 위치) 충격힘의 효율을 비교해보면 straight 타입은 25%의 효율을 보여주는 반면 swirl 방식은 50% 효율성을 나타내고 있다. 또한 속도 저하가 이루어지는 5 mm 지점에서의 결과에서도 60%와 85%로 차이가 났다. 이 부분은 swirl 발생 구조로 인해 미세한 액적의 분포가 더 넓게 이루어지는 형태에서 공기가 함께 이동하면서 충격량에 끼치는 부분의 역할이 더 있었다고 볼 수 있다.

따라서 실제적으로 토출속도 기준으로 보면 적어도 병렬 구조를 구축하는데 원뿔형 분사는 swirl 구조가 유리하다고 판단된다. 그러나 실제 swirl 구조는 주입속도에 비해 토출속도의 저하가 크기 때문에 작동압 기준에서는 고려하는 부분이 필요하다.

5. 결론

친환경적인 정제를 위해 고려된 박리액의 물성을 사용하여 패턴 공정에서 ITO 투명전극 위에 형성된 PR층을 박리하는 분사공정을 검토하였다. 검토 조건은 증류수가 최소 66% 이상 포함된 수계 상태에서 박리온도 40°C와 공정시간 40 s 이내의 조건으로 이루어지며, 박리품질은 UV 투과도 측정에서 85% 이상을 획득하는 공정방법을 제시하는데 있다.

(1) 친환경 사용 목적과 빠른 공정 시간을 위해 간단한 딥핑 실험으로 상기 조건이 설정되었으며 해당 조건은 낮은 온도로 인해 비활성적인 화학적 박리 메커니즘만으로 완벽한 박리를 보장하지 않았다.

(2) PR 폴리머의 2차 분자 결합을 화학적으로 약화 시킨 후 폴리머간의 결합을 분사 공정을 통한 물리적인 유동에 의해 가능한 제거를 위해 노즐에서 분사되는 액적 거동의 breakup 길이 (50 mm)로 짧게 하여 충돌힘을 늘리고 액적을 최대 유지함으로써 박리액의 온도(40°C)를 최대한 보존하였다.

(3) 분사각 40° 이상으로 유지되는 가우스형 밀도를 갖는 분사노즐과 노즐 1개 기준 분당 500 mL 전후 유동율에 해당되는 1 bar 작동압을 사용하여 노즐간 거리 40-50 mm 이내로 구성할 때 이론에 의해 나타나는 충격힘과 비교하여 효율성이 높음을 수치적으로 확인하였다.

후 기

이 연구는 2016년 청정생산기반전문기술개발사업 과제번호 10052250의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Moore, J. C., 2002, Successful Photoresist Removal: Incorporating Chemistry, Conditions, and Equipment, Proc. SPIE 4690, Advances in Resist Technology and Processing XIX 892-903.
- [2] Kim, J. H., Kim, S. H., Jeong, B. H., Joo, G. T., Kim, Y. S., 2016, Green Photoresist Stripping Process with the Influence of Free Surface from Dip Withdrawal, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 25:1 14-20.
- [3] Kim, J. H., Shim, J. M., Joo, G. T., Kim, Y. S., Jeong, B. H., 2016, An Efficient Photoresist Stripping Process on the ITO Surface Using the Dipping Method, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 25:4 281-289.
- [4] Kim, J. H., Lee, J. H., Kang, T. S., Joo, G. T., Kim, Y. S., Jeong, B. H., Lee, D. W., 2017, Numerical Investigation of Factors Affecting Photoresist Stripping Process on the ITO Surface using the Spray Method, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 26:2 158-165.
- [5] Nakahara, H., Takeuchi, Y., Hashimoto, R., Maruyama, T., Abe, H., 2004, Photoresist Stripping Composition and Process for Stripping Resist, US Patent: 6815150.
- [6] Ikemoto, K., 2004, Photoresist Stripping Agent, US Patent: 0137379.
- [7] Ikemoto, K., Yamamoto, Y., Yoshida, H., Maruyama, T., 2006, Photoresist Stripping Composition and Cleaning Composition, US Patent: 7049275.
- [8] Choi, H. S., 2013, Photoresist Striping Compositions for Manufacturing Lcd, US Patent: 0345106.
- [9] Lee, H. K., Lee, I. G., Park, M. J., Koo, K. K., Cho, Y. J., Cho, B. G., 2013, Technical Trend on the Recycling Technologies for Stripping Process Waste Solution by the Patent and Paper Analysis, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 22:4 81-90.
- [10] Eotech, Viewed 21 July 2017, <<http://www.eotechkorea.com>>.
- [11] Ishimoto, J., Hoshina, H., Tsuchiyama, T., Watanabe, H., Haga, A., Sato, F., 2007, Integrated Simulation of the Atomization Process of a Liquid Jet Through a Cylindrical Nozzle, Interdisciplinary Information Sciences, 13:1 7-16.