

나노입자 적층시스템에서 입자크기의 영향에 관한 연구

Effect of particle size in nano-particle deposition system

*#천두만¹, 오현석², 안성훈²

*#D.-M. Chun(dmchun@ulsan.ac.kr)¹, H. S. Oh¹, S.-H. Ahn²

¹울산대학교 기계공학부, ²서울대학교 기계항공공학부

Key words : Particle size, Nano-particle deposition system, Computational Fluid Dynamics

1. 서론

최근 마이크로/나노 제조 공정은 다양한 응용분야로 인하여 활발히 연구가 진행되고 있다. 마이크로/나노 제조 공정에서 중요한 목표는 정밀도, 품질, 비용, 제작 기간 등이었으나 최근에는 환경에 대한 영향과 에너지 절감이 중요한 이슈가 되고 있으며, 각국의 환경규제로 인하여 고효율, 친환경 제조 공정의 연구가 중요하게 되었다. 기존의 다양한 마이크로/나노 제조 공정에서는 표면에 박막을 적층하거나 패턴을 만들 때 아세트, 톨루엔, 크실렌 등의 인체 및 환경에 유해한 화학물질을 사용하고 있어 이를 방지하기 위해 이러한 용매를 포함하지 않는 건식적층 방법이 새로운 대안으로 연구되고 있다. 건식적층 방법들 중 나노입자 적층시스템 (Nano-Particle Deposition System, 이하 NPDS)의 경우 에너지 소모가 유사한 공정들보다 상대적으로 적다는 장점이 있다.¹ 따라서 본 연구에서는 친환경적인 NPDS 에서 입자크기가 달라짐에 따라 유동에 의한 입자가속 특성이 바뀌어지는 것을 유동해석을 통해 고찰하였다.

2. 입자크기에 따른 충돌속도 변화

NPDS 에서는 입자의 가속이 가스압력과 적층 챔버의 진공에 의한 압력차이로 인하여 이루어지고 특히 축소-확대 노즐을 통해 초음속 영역으로 가속된다. 정확한 충돌속도를 알기 위해서는 실험적으로 입자의 충돌속도를 측정하여야 되지만 저온분사 공정에서와 같이 Particle Image Velocimetry (PIV)로 측정하기에는 노즐과 기관사이의 거리가 아주 작고 (1~10mm 수준), 적층에 사용하는 입자의 크기가 1 μ m

보다 작기 때문에 기관 근처에서 속도 변화가 심해서 Aerosol deposition 에서 사용되었던 Time-of-flight 방법도 신뢰성이 부족하게 되어 사용하기가 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 Computational Fluid Dynamics 를 이용하여 입자크기별 속도 변화의 경향성을 살펴보았다. 유동해석은 ANSYS CFX 소프트웨어를 이용하여 수행하였고 유동모델은 Total energy with inviscide work 에너지 모델과 Shear Stress Transport (SST) 난류모델을 사용하였다. 입자의 경로 추적은 Lagrangian particle tracking 을 사용하였다.² 그 외의 공정조건은 Table 1 에 정리하였다. 해당 조건을 이용하여 노즐주변의 유동속도 결과를 살펴보면 Figure 1 과 같이 같다. 최대 속도는 기관근처에서 확인되었고 약 640m/sec 이었다. 기관근처에서는 유동속도가 급격히 감소되어 기관에서는 no slip condition 으로 인하여 속도가 0 이 되었다. 이러한 유동 속도분포는 입자가 클 경우 관성이 커서 감속이 별로 이루어 지지 않고 충돌하지만 작은 입자의 경우 기관 근처에서 급격한 감속이 이루어 진다.

Table 1 Process parameters

Process parameter	Value
Nozzle length of divergent part	5 mm
Nozzle exit dimension	□1mm x 3mm
Carrier gas pressure	0.5 Mpa
Chamber pressure	0.02 MPa
Stand-off distance (SoD)	3 mm
Particle	Al ₂ O ₃
Particle diameter	0.1, 0.5, 1, 5, 10 μ m

Figure 2 는 기관근처에서의 위치별 입자크기별 속도변화를 보여주는 결과이다. 1 μm 크기보다 클 경우 유동속도의 변화에 따른 감속이 크지 않다. 하지만 입자크기가 1 μm 이하의 경우 기관 근처에서 급격한 감속이 발생하였다. 따라서 충돌속도는 입자크기에 따라 크게 달라졌다. 특히 입자의 크기가 작은 경우에는 기관 근처에서 급격한 속도변화가 예측되었다. 특히 입자크기가 0.1 μm 의 경우에는 기관에 충돌하지 않고 유동을 따라서 비켜 갔다. 본 해석은 입자모양이 완전한 구형으로 가정하였고 입자에 작용하는 항력이나 열교환에 대해서는 실험식을 사용하였고, 이러한 가정에 의해 실제 입자의 거동과 차이가 있을 수 있으나, 입자 크기에 따른 충돌속도 경향성을 볼 수 있었다.

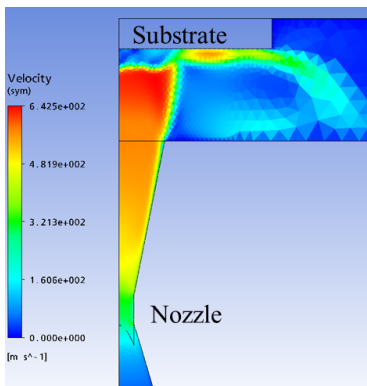


Fig. 1 Flow velocity around the nozzle and substrate

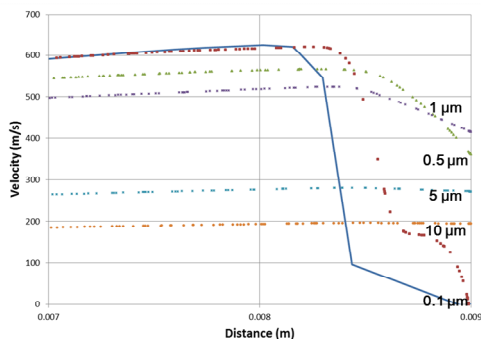


Fig. 2 Particle velocity changes along the nozzle centerline according to the particle size (distance 0.009m : substrate)

3. 적층 및 식각

유동해석을 통하여 압축공기의 압력, 노즐과 기관의 거리 등의 영향을 알 수 있었으며 입자크기가 클수록 충돌속도를 높이기 위해 높은 압축공기 압력과 긴 노즐-기관 거리가 요구되었고, 입자크기가 작은 경우 Table 1 에서 주어진 공정인자 값 근처에서 최대의 충돌속도가 예측되었다. 이러한 경향성을 이용하여 크기가 다른 두 Al_2O_3 입자 (직경 약 0.5 μm , 40 μm)를 이용하여 사파이어 기관에 적층 또는 식각이 가능한 공정인자를 확인할 수 있었다.

4. 결론

나노입자 적층시스템에서 입자크기에 따라 기관근처에서 충돌속도 변화가 다름을 유동해석을 통해서 확인하였다. 1 μm 크기보다 클 경우 유동속도의 변화에 따른 감속이 크지 않았지만 입자크기가 1 μm 이하의 경우 기관 근처에서 급격한 감속이 발생하였다. 이러한 입자크기의 영향은 적층과 식각을 위해 중요한 충돌속도를 조절할 수 있는 기반자료로 사용될 수 있다.

후기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012R1A1A1012623)

참고문헌

1. Chun, D. M., Choi, J. O., Caroline S. Lee, Isaku Kanno, Hidetoshi Kotera, and Ahn, S. H., "Nano-particle deposition system (NPDS) : low energy solvent-free dry spray process for metal and ceramic films," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, **13**, 1107-1112, 2012.
2. ANSYS Inc. : www.ansys.com