Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 12. No. 1, pp. 185-191, 2021

ISSN 2233-4890 / eISSN 2713-6353
https://doi.org/10.15207/JKCS.2021.12.1.185

이산요소법을 이용한 금속 분말 분무 과립화 공정의 생산성 시뮬레이션 연구

손권중
홍익대학교 기계정보공학과 부교수

Numerical Simulation of Productivity of Metal Powder Spray Granulation Process Using Discrete Element Method

Kwon Joong Son
Associate Professor, Department of Mechanical and Design Engineering, Hongik University

요 약 과립 분말 야금법은 기존 분말 야금법보다 치밀도가 높은 소결 부품을 얻을 수 있는 제조 기술이다. 하지만 추가 과립화 공정에 따른 생산 비용 증가가 상당하다는 단점이 있다. 과립 분말 야금법의 생산성 향상을 위해서는 과립 분말 제조 시 높은 회수율이 보장되어야 한다. 본 논문에서는 분체 동역학 전산 해석법인 이산요소법을 이용하여 과립 분말의 수율에 영향을 미치는 과립화 공정의 특성에 대해 살펴보았다. 분무 과립 공정 중 과립화 분말의 비산, 충돌 및 소착 현상을 시뮬레이션함으로써 분무 건조기의 운전 조건에 따른 과립화 분말의 파손 및 회수 가능 여부를 예측하였다. 본 논문의 가상 공정 시뮬레이션 융합 연구 결과는 실제 금속 분말의 분무 과립화 공정의 생산성 향상에 이바지할 것으로 기대한다.

주제어 : 이산요소법, 분무 과립화, 분무 건조, 금속 분말, 공정 시뮬레이션, 융합 연구

Abstract A powder metallurgy process with granules is the manufacturing technology that can achieve higher-density sintered parts than conventional powder metallurgy processes. However, there is a disadvantage in that the production cost increases significantly due to the additional granulation step. High granule productivity must be guaranteed for affordable material costs in this manufacturing technology. This paper performed a series of scattering, collision, and adhesion simulations of agglomerated powders to investigate the characteristics of granulation process affecting the manufacturing yield rate. The results of this simulation-based convergence study can contribute to improving productivity in the metal powder spray granulation process.

Key Words : DEM, Spray granulation, Spray drying, Metal powder, Process simulation, Convergence research

*This work was supported by 2020 Hongik University Research Fund and the Technology development Program(C0444467) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).
*Corresponding Author : Kwon Joong Son(kjson@hongik.ac.kr)
Received November 9, 2020 Revised December 7, 2020
Accepted January 20, 2021 Published January 28, 2021

1. 서론

분말야금(PM, powder metallurgy)은 금형에 금속 분말을 충전한 후 압축 성형 및 소결 과정을 거쳐 제품을 생산하는 제조 기술이다[1,2]. 분말 야금은 일반적으로 주조나 절삭 가공보다 생산 단가가 낮아 대량생산에 유리하다. 하지만 고체상을 유지하면서 소결을 진행하는 공정 특성상 분말 사이의 공극을 완벽하게 제거하기 어려우므로 분말 소결 제품은 주조 제품보다 밀도와 강도가 낮다. 소결 제품의 정밀도와 치밀도를 개선하기 위해 금속 분말 사출성형법(MIM, metal powder injection molding)이 개발되었다[3]. MIM 공정은 입도 평균이 100㎛ 내외인 PM용 분말보다 매우 작은 10㎛ 전후의 입도를 갖는 미세 분말을 슬러리화한 뒤 금형에 사출하여 소결하는 방식으로 제품의 기계적 성질과 정밀도가 우수하다. 하지만 MIM 공정은 미세 분말의 단가가 높고 사출용 금형 제작과 바인더 제거 공정이 추가로 요구되므로 PM 공정보다 일반적으로 제조 비용이 많이 든다. 최근 PM 공정의 높은 생산성과 MIM 공정의 우수한 제품 성질을 동시에 얻을 수 있는 과립화 분말야금법(GPM, granulated powder metallurgy)이 연구되고 있다[4-6]. GPM 공정은 MIM에 사용하는 미세 분말을 과립화하여 원료로 사용한다는 점을 제외하면 PM 공정과 유사하다. GPM의 경우 과립이 분쇄되면서 미세 입자가 과립 사이의 공극을 채우는 방식으로 압축 성형과 소결이 진행되어 제품의 치밀도를 획기적으로 개선할 수 있다. 분말 소결 공정으로 얻을 수 있는 최대 밀도는 주조품의 92% 이하지만[7] GPM 공정으로는 97% 수준까지 얻을 수 있다[5]. 이처럼 GPM 공정은 PM처럼 단순한 공정으로 MIM과 같이 고강도의 소결품을 얻을 수 있다는 장점에도 불구하고 과립화 분말의 대량생산 체계가 확립되지 못하면 널리 활용될 수 없다. 따라서 GPM 분야에서 금속 분말 과립화 공정의 생산성을 제고하는 것은 매우 중요한 연구 주제이다.

과립화 분말 제조 시 생산성을 높이기 위해서는 빠른 생산 속도와 높은 수율을 보장하는 공정기술의 개발이 요구된다. 금속 과립 분말 제조법으로는 생산 속도가 빠른 원심 분무 건조법[8,9]이 가장 널리 사용되고 있다. 원심 분무 건조법에서 분무기의 회전속도는 분말의 과립도를 결정하는 중요한 공정 변수다. 분말 과립화 공정에서 수율을 낮추는 대표적인 요인으로 과립의 파손과 소착을 꼽을 수 있다. 과립의 파손은 분무기 디스크로부터 구상화되어 빠른 속도로 비산된 분말 과립이 건조기 체임버의 벽면과 충돌할 때 주로 발생한다. 소착은 결합제의 표면 잔류 응집력 때문에 과립 분말이 건조기 체임버에 달라붙는 현상으로 아토마이저에서 비산된 과립 분말이 낙하 도중 충분히 건조되지 않을 때 발생한다. 과립 파손 및 소착 현상을 실험적 방법으로 연구하기 위해서는 많은 시간 비용이 소요되므로 수치 해석법이 대안이 될 수 있다.

본 논문은 수치 시뮬레이션에 기반한 제조기술·전산해석 융합적 접근법으로 분무 과립 공정 중 과립화 분말의 비산 특성을 비롯하여 충돌 거동과 소착 현상을 고찰하는 것을 목표로 한다. 수치 해석법으로는 분체의 동역학 유동 해석에 널리 이용되는 이산요소법(DEM, discrete element method)[10]을 사용하였고 시뮬레이션 결과로부터 분무 건조기의 운전 조건에 따른 과립화 분말의 파손 및 회수 가능 여부를 예측하였다.

2. 이산요소법 공정 시뮬레이션

이산요소법은 입자성 재료의 유동을 계산할 수 있는 전산 해석법으로써 산업용 분말을 활용한 각종 제조 공정 시뮬레이션에 사용되고 있다[11-16]. 본 연구에서는 분무 건조기 내부에서의 분말 비산과 충돌을 비롯하여 소착 현상에 대한 이산요소법 시뮬레이션을 수행하였다. 전산해석 도구로는 상용 이산요소법 소프트웨어인 EDEM을 사용하였고 충돌 시뮬레이션 수행 시 요구되는 전처리 코드 개발용 프로그래밍 언어로는 C++를 사용하였다. 시뮬레이션 수행 시 아토마이저 디스크 회전속도 범위는 실제 분무 과립화 공정의 운전 조건을 반영하여 5,000rpm에서부터 7,000rpm까지로 설정하였다.

2.1 비산 시뮬레이션

Fig. 1은 이산요소법 비산 시뮬레이션 전처리 단계에서 생성한 분무 건조기의 CAD 형상을 나타낸다. 건조기 체임버의 상단과 하단은 각각 원통과 원뿔 형태를 취하

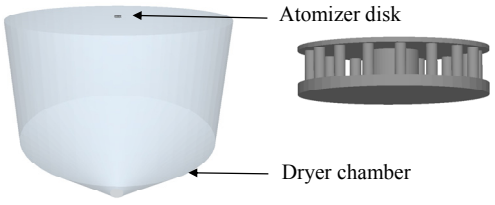


Fig. 1. Spray dryer chamber and atomizer disk

고 있다. 체임버 지름은 1,600mm이고 체임버 하단의 과립 분말 회수를 위한 오리피스의 지름은 200mm이다. 분무 건조기 상단에 위치한 아토마이저 디스크의 직경은 84mm로 Fig. 1의 우측에 확대하여 별도로 표시하였다.

Fig. 2는 비산 시뮬레이션 초기 조건과 해석 결과로부터 얻은 비산 각도의 범위를 나태낸다. 아토마이저 디스크의 회전속도는 5,000rpm으로 설정하였고 Fig. 2의 왼쪽 그림에서처럼 82㎛ 입자가 수직 방향으로 1,000 cc/min의 체적속도로 하강한다고 가정하였다. 총 시뮬레이션 시간인 0.0413초 동안에 연속적으로 71,561개의 입자가 생성되었다. 수직으로 공급된 입자는 고속 회전하는 디스크 표면에 접촉하면서 바깥쪽으로 빠르게 비산한다. 입자의 자취를 연속선으로 표시한 결과 Fig. 2의 오른쪽 그림과 같이 슬러리의 분사 방향을 기준으로 66˚와 93˚ 사이의 비산 각도가 예측되었다.

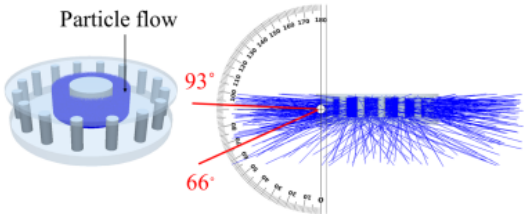


Fig. 2. Initial configuration and result of particle scattering simulation

2.2 충돌 시뮬레이션

이산요소법을 이용하여 과립화 분말의 충돌 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 미세 입자를 과립 모양으로 클러스터화하는 전처리 작업이 필요하다. 본 연구에서 사용한 상용 소프트웨어인 EDEM는 과립화 분말의 생성 기능을 제공하고 있지 않기 때문에 미세 분말 크기와 아토마이저 디스크의 회전 속도 정보를 인자로 받아 단순 입방 클러스터 구조의 과립 분말을 생성하는 전처리기 프로그램을 C++ 언어로 개발하였다. 과립화 분말의 직경 D[㎛]과 아토마이저 디스크의 회전속도 n[rpm]의 관계를 모델링하기 위해 $D = 0.011n + 27$의 실험식을 사용하였다. 이 실험식은 미세 입자 반경이 6㎛이고 디스크 회전속도의 범위가 5,000rpm 이상이며 7,000rmp 이하일 때 유효하다. 개발한 전처리 코드는 EDEM API(EDEM application programming interface) 라이브러리를 통해 Fi.g 3과 같이 입자 생성 단계에서 실행된다.

Fig. 4는 과립 분말 생성용 전처리 코드를 이용하여 생성한 과립 분말의 예를 보여준다. 아토마이저 디스크의 회전속도를 5,000rpm로 입력할 경우 6㎛ 입자 1,064개로 이루어진 직경 82㎛ 과립화 분말이 생성되었다. 과립화 공정 중 첨가된 결합제가 건조되면서 형성되는 입자 사이에 결합력을 고려하기 위하여 전처리 단계에서 이웃 입자 사이에 본드도 함께 생성하였다.

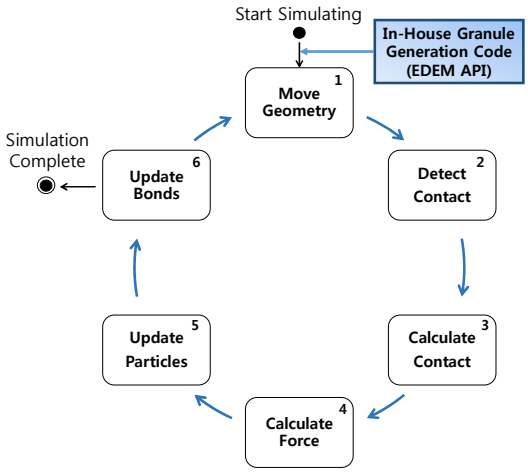


Fig. 3. EDEM computation flow chart and API (Courtesy of Altair Engineering Inc.)

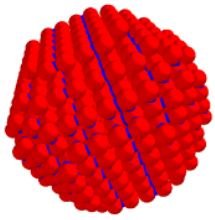


Fig. 4. Granulated powder model composed of 1,064 metal particles

아토마이저 디스크의 분당 회전수에 따른 과립화 분말의 직경, 과립 구성 입자의 총 개수, 과립의 최대 비산 속도를 계산한 결과를 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Computed properties of granulated powders

Atomizer speed (rpm)	5,000	6,000	7,000
Granule diameter (㎛)	82.0	93.0	104.0
Number of particles	1,064	1,640	2,325
Discharging speed (m/s)	31.68	37.89	44.05

과립 입자는 아토마이저 디스크에서 비산된 시점에서 최대 속력을 갖고 낙하 중 공기와의 마찰에 의해 감속된다. 스토크스의 법칙(Stoke's law)[13]을 적용하여 비산된 과립 입자에 작용하는 항력을 계산할 수 있고 운동 방

정식을 풀어 건조기 체임버 벽면에 도달하는 시점에서의 과립 운동 속도의 수평 성분과 수직 성분을 얻을 수 있다. 아토마이저 디스크의 분당 회전수에 따른 과립의 충돌 속도를 계산한 결과를 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Computed properties of granulated powders

Atomizer speed (rpm)	5,000	6,000	7,000
Granule mass (ng)	0.9627	1.4838	2.1036
Discharging speed (m/s)	31.68	37.89	44.05
Collision time (ms)	31.7	24.0	19.8
Horizontal speed (m/s)	19.73	29.11	37.10
Vertical speed (m/s)	0.40	0.57	0.72

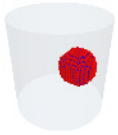
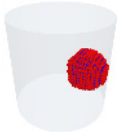
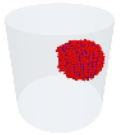
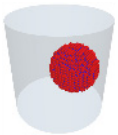
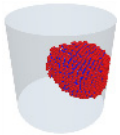
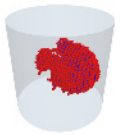
과립화를 위해 입자 슬러리에 첨가한 바인더는 미세 분말 사이의 응집력과 결합력을 부가한다. 이산요소법 시뮬레이션에서 응집력은 JKR(Johnson, Kendal, Roberts) 응집모델[11,12]을 사용하여 계산하였고 결합력은 입자 본드 모델(bonded particle model)을 사용하여 계산하였다. 입자 간 접촉력, 응집력, 결합력 계산을 위해 입력한 인자를 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Adhesion and cohesion model parameters

Property	Value
Density (kg/m^3)	8,000
Young's modulus (GPa)	190
Poisson's ratio	0.27
Coefficient of static friction	0.3
Coefficient of rolling friction	0.01
Coefficient of restitution	0.8
Normal bond strength (MPa)	42.89
Shear bond strength (MPa)	24.13
Bonded disk radius (㎛)	2.0
Cohesive energy density (J/m^2)	2.0

Table 4에 아토마이저 디스크의 분당 회전수에 따른 충돌 시뮬레이션 결과를 시각화하여 나타내었다. 충돌 입자가 계산 영역에서 이탈하는 상황을 회피면서 계산 효율도 향상하기 위해 시뮬레이션 공간에서 체임버 실린더의 크기를 축소하였다. 시뮬레이션 시간도 충돌 직전과 직후의 파손 여부만 확인하기 충분할 정도인 10㎲로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 과립 분말의 외형 파괴는 디스크 회전 속도가 6,000rpm 이상일 때 관측되었다. 아토마이저 분당 회전수가 6,000rpm인 경우에 총 12,840개의 본드 중에서 50.5%에 해당하는 6,409개가 파괴되었고, 회전수가 7,000rpm의 경우는 총 18,468개의 본드 중에서 54.6%에 해당하는 18,468개가 소실되었다.

Table 4. DEM collision simulation results

Disk speed	Before collision	During collision	After collision
5,000 rpm			
6,000 rpm			
7,000 rpm			

2.3 소착 시뮬레이션

소착 현상은 결합제의 건조 불량으로 잔류하는 입자 표면 응집력 때문에 발생하여 과립 분말 회수율을 저하한다. 응집력에 따른 분말의 소착 경향성을 살펴보기 위해 이산요소법 시뮬레이션을 수행하였다. 분말과 체임버 벽면 사이의 접착력은 응집 에너지 밀도 값을 인자로 갖는 JKR 모델로 계산하였다. 분무 건조기에 분당 1,000cc/min 정도의 체적 속도로 분말 슬러리를 주입하므로 1분당 8조 개 정도의 과립 분말이 회수된다고 볼 수 있다. 이 경우 단 1초간의 소착 시뮬레이션 데이터를 저장하는데 수십만 테라바이트의 용량이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 계산 자원이 허용하는 범위에서 이산요소법 해석을 수행하기 위해서 입자의 크기는 실제 보다 크게 하고 회수용 깔때기의 크기는 실제보다 작도록 시뮬레이션 조건을 설정하였다. 구체적으로 지름이 1mm인 분말 50g을 회수용 깔때기로 포집하는 조건에서 응집력 밀도를 0.1-0.2 J/m^2 범위에서 변화시켜 가면서 소착의 경향성을 살펴보았다. 해석에 사용된 회수용 깔때기는 직경이 39mm이고 오리피스 직경이 9.8mm이며 총 높이는 48.85mm이다.

결합제의 건조가 완벽하여 표면 응집력이 없는 경우 Table 5에서와같이 소착 현상 없이 모든 분말을 회수할 수 있을 것으로 예측되었다. Table 6은 잔류 응집력이 존재하는 경우의 소착 시뮬레이션 결과를 시간에 따라

보여준다. 표면 응집 에너지가 높아질수록 분말의 소착량이 증가하여 회수율이 낮아지는 경향성을 육안으로도 확인할 수 있다.

Table 5. Non-cohesive particle flow through a funnel

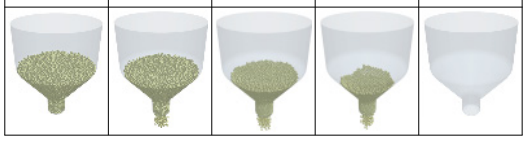
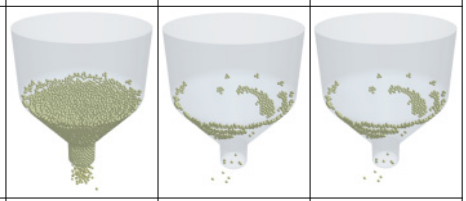
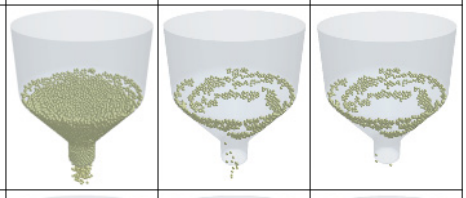
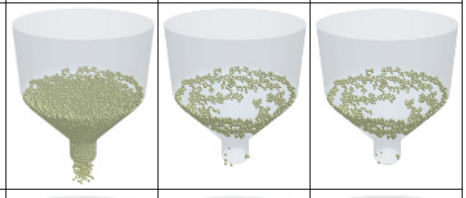
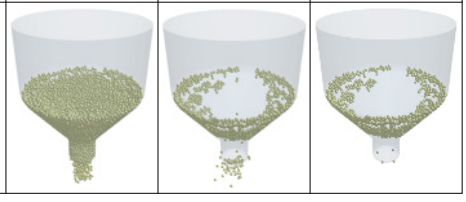
t = 0.0s	t = 0.5s	t = 1.0s	t = 1.5s	t = 2.0s
				

Table 6. DEM adhesion simulation results

J (J/m^2)	t = 1.0s	t = 2.0s	t = 3.0s
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			

3. 결과 분석

Table 1의 계산 결과에 따르면 주어진 아토마이저 디스크의 속도 범위(5,000-7,000rpm) 내에서는 속도가 증가함에 따라 과립 분말의 입도와 비산 속도가 함께 증가함을 알 수 있다. 산업계에서 요구하는 과립의 평균 입도는 70㎛ 이상인 점을 고려할 때 5,000rpm 조건에서 생산된 과립의 평균 입도는 82㎛로 계산되었으므로 그 이상의 속도 조건에서 GPM 공정에 적합한 입도의 과립 분말을 생산할 수 있음을 알 수 있다. 아토마이저 디스크의 회전 속도가 높아질수록 주입할 수 있는 분말 슬러리의 체적 속도도 함께 증가하므로 시간당 과립 생산량을 개선할 수 있는 여지가 있다. 하지만 디스크 회전 속도가 증가할수록 생성되는 과립의 비산 운동량이 커져 충돌에 의한 파손 가능성이 높아진다는 점도 공정 조건 산출 시 반드시 고려해야 한다.

분무 건조기 내에서 비산된 과립의 파손 여부를 예측하기 위하여 이산요소법을 이용한 과립 분말 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. Table 4와 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 디스크 회전속도가 6,000rpm 이상일 경우 미세 분말 간 본드 파괴로 인해 과립에 균열이 발생하므로 5,000rpm에서 과립 분말 회수율이 가장 높을 것으로 예측할 수 있다. Fig. 5는 충돌 후 파손된 입자의 본드 파괴 정도를 보여준다. 아토마이저 디스크의 회전 속도가 증가함에 따라 파단면의 개수와 범위가 증가한다는 사실을 알 수 있다.

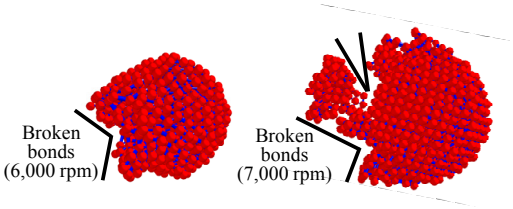


Fig. 5. Fractured granules after wall collision

분무 과립 공정의 생산성을 저하하는 또 다른 원인인 소착 현상에 대한 이산요소법 시뮬레이션을 수행하였다. Table 5과 Table 6에 제시한 소착 시뮬레이션 결과를 통해 결합제의 불완전 건조로 잔류하는 표면 응집 에너

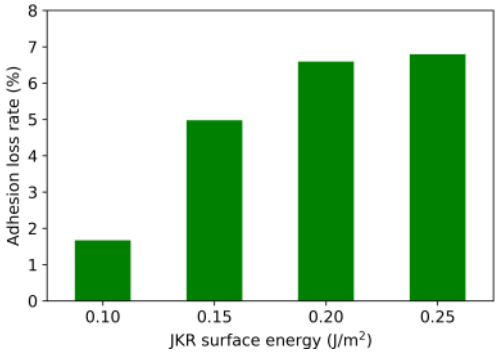


Fig. 6. Adhesion loss rate of granulated powders versus cohesive energy density

지가 특정 임계치를 초과할 때 입자의 소착 현상이 나타나기 시작한다는 사실을 확인할 수 있다. Fig. 6은 이산요소법 시뮬레이션 결과로부터 표면 응집 에너지 밀도에 따른 분말 회수율을 계산한 결과를 나타낸 그래프다. 응집 에너지가 증가함에 따라 소착 손실률이 높아져 과립화 공정의 생산성이 낮아진다는 사실을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 금속 분말의 분무 과립화 공정에서 과립의 비산, 충돌 및 소착 현상이 생산성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 가상 공정 시뮬레이션 융합 연구를 수행하였다. 분말의 충돌 및 응집과 같은 동적 거동을 수치해석할 수 있는 이산요소법을 시뮬레이션 도구로 사용하였다. 분무기 디스크의 회전 속도에 따른 과립의 평균 입입도를 예측하는 실험식에 기반하여 단순 입방 클러스터 구조로 과립 분말 형상을 생성하는 전처리기 프로그램을 개발하였다. 이산요소법 시뮬레이션을 통해 과립의 비산각도, 건조기 벽면 충돌 후 파손 여부, 그리고 잔류 표면 응집 에너지에 따른 입자의 소착 비율을 예측하였다. 수치 해석 결과의 분석을 통해 금속 분말 과립화 공정의 생산성을 높일 수 있는 두 가지 개선 방안을 도출하였다. 첫째는 아토마이저 디스크 회전 속도 최적화 방안으로써 비산 및 충돌 시뮬레이션을 통해 과립의 최소 입도 조건을 만족하면서 충돌에 의한 과립 파괴를 회피할 수 있는 디스크 회전 속도를 도출할 수 있었다. 둘째는 과립화 분말의 건조 방안으로써 소착 시뮬레이션 결과를 통해 과립 분말이 건조기 벽면에 달라붙어 회수되지 않는 소착 현상을 최소화하기 위한 잔류 표면 응집력을 임계치를 도출할 수 있었다. 본 논문의 제조기술·전산해석 융합 연구 방법론은 상당한 비용과 시간이 소요되는 실험적 접근법의 대안으로써 분무 과립화 공정의 수율 개선을 통해 과립화 분말야금법의 생산성 향상에 이바지할 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] K. Kondoh. (2012). *Powder Metallurgy.* Rijeka : InTech. DOI : 10.5772/1922

[2] F. Thümmler & R. Oberacker. (1993). *An Introduction to Powder Metallurgy.* London : The Institute of Materials.

[3] D. Heaney (2019). *Handbook of Metal Injection Molding.* Cambridge: Woodhead Publishing.

[4] T. Kadomura, Y. Maeta & I. Otsuka. (2006). Development of Granulated Powders by SUS316L Ultra Fine Powder. *Proceedings of the 2006 Powder Metallurgy World Congress.* (pp. 733-734). Seoul : Korean Powder Metallurgy Institute.

[5] H. Toyoshima, M. Kusunoki & I. Otsuka. (2006). Sintering Properties of High-Pressure Water Atomized SUS 316L Ultra Fine Powder. *Proceedings of the 2006 Powder Metallurgy World Congress.* (pp. 769-770). Seoul : Korean Powder Metallurgy Institute.

[6] M. Roseane et al. (2017). Production of Nickel Matrix Composites Reinforced with Carbide Particles by Granulation of Fine Powders and Mechanical Pressing. *Powder Technology, 305,* 673-678. DOI : 10.1016/j.powtec.2016.10.053

[7] J. P. Choi, G. Y. Lee, J. I. Song, W. S. Lee & J. S. Lee. (2015). Sintering Behavior of 316L Stainless Steel Micro-Nanopowder Compact Fabricated by Powder Injection Molding. *Powder Technology, 279,* 196-202. DOI : 10.1016/j.powtec.2015.04.014

[8] A. D. Salman, M. J. Hounslow & J. P. K. Seville. (2007). *Granulation.* Amsterdam : Elsevier.

[9] J. Litster & B. Ennis. (2004). *The Science and Engineering of Granulation Processes.* Berlin : Springer Science & Bussiness Media DOI : 10.1007/978-94-017-0546-2

[10] H. R. Norouzi, R. Zarghami, R. Sotudeh-Gharebagh & N. Mostoufi. (2016). *Coupled CFD-DEM Modeling: Formulation, Implementation and Application to Multiphase Flows.* Chichester : John Wiley & Sons. DOI : 10.1002/9781119005315

[11] K. J. Son. (2018). A Numerical Study of the Influence of Rheology of Cohesive Particles on Blade Free Planetary Mixing. *Korea-Australia Rheology Journal, 30(3),* 199-209. DOI : 10.1007/s13367-018-0020-z

[12] K. J. Son. (2019). A Numerical Study of the Influence of Operating Conditions of a Blade Free Planetary Mixer on Blending of Cohesive Powders. *Korea-Australia Rheology Journal, 31(1),* 15-23. DOI : 10.1007/s13367-019-0002-9

[13] K. J. Son. (2018). A Discrete Element Model for the influence of Surfactants on Sedimentation Characteristics of Magnetorheological Fluids. *Korea-Australia Rheology Journal, 30(1),* 29-39. DOI : 10.1007/s13367-018-0004-z

[14] K. J. Son. (2020). Performance Evaluation of Multi-Degree-of-Freedom Robotic Mixer using Discrete Element Mixing Simulations. *Journal of the Korea Convergence Society, 10(10),* 117-122. DOI : 10.15207/JKCS.2020.11.10.219

[15] K. S. Kim. (2019). Simulation of Membrane Sloshing Tank by Using MPS. *Journal of the Korea*

Convergence Society, 11(10), 219-224.
DOI : 10.15207/JKCS.2019.10.10.117

[16] L. Fries, S. Antonyuk, S. Heinrich & S. Palzer. (2011). DEM-CFD Modeling of a Fluidized Bed Spray Granulator. *Chemical Engineering Science, 66,* 2340-2355.
DOI : 10.1016/j.ces.2011.02.038

손 권 중(Kwon Joong Son) [정회원]

· 2003년 2월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학사)
· 2005년 5월 : 미국 카네기멜런대학교 기계공학과(공학석사)
· 2009년 5월 : 미국 텍사스대학교오스틴 기계공학과(공학박사)
· 2010년 8월 ~ 2015년 4월 : 아랍에미리트 두바이아메리칸대학교 기계공학과 부교수
· 2015년 9월 ~ 현재 : 홍익대학교 기계정보공학과 부교수
· 관심분야 : 전산역학, 스마트제조, 인공지능, 융합교육
· E-Mail : kjson@hongik.ac.kr