

이차전지 원료 해쇄용 그라인딩 디스크 어셈블리 내 열 유동 해석에 관한 연구

윤동민¹ · 전용한[†]
상지대학교 소방공학과^{1,†}

A Study on Thermal Flow Analysis in Grinding Disc Assembly for Disintegration of Secondary Battery Materials

Dong-Min Yun¹ · Yong-Han Jeon[†]

Department of Fire Protection Engineering, Sangji University^{1,†}

(Received December 09, 2022 / Revised December 28, 2022 / Accepted December 31, 2022)

Abstract: Sustained economic development around the world is accelerating resource depletion. Research and development of secondary batteries that can replace them is also being actively conducted. Secondary batteries are emerging as a key technology for carbon neutrality. The core of an electric vehicle is the battery (secondary battery). Therefore, in this study, the temperature change by the heat source of the hammer and the rotational speed (rpm) of the abrasive disc of the Classifier Separator Mill (CSM) was repeatedly calculated and analyzed using the heat flow simulation STAR-CCM+. As the rotational speed (rpm) of the abrasive disk increases, the convergence condition of the iteration increases. Under the condition that the inlet speed of the Classifier Separator Mill (CSM) and the heat source value of the disc hammer are the same, the disc rotation speed (rpm) and the hammer temperature are inversely proportional. As the rotational speed (rpm) of the disc increases, the hammer temperature decreases. However, since the wear rate of the secondary battery material increases due to the strong impact of the crushing rotational force, it is determined that an appropriate rpm setting is necessary. In CSM (Classifier Separator Mill), it is judged that the flow rate difference is not significantly different in the direction of the pressure outlet (Outlet 1) right above the classifier wheel with the fastest flow rate. Because the disc and hammer attachment technology is adhesive, the attachment point may deform when the temperature of the hammer rises. Therefore, it is considered necessary to develop high-performance adhesives and other adhesive technologies.

Key Words: Secondary Battery, Grinding Disc, Thermal Energy

1. 서론

전 세계적으로 끊임없는 경제의 발전이 진행됨에 따라 자원의 고갈 속도는 점점 빨라지고 있다. 이에 대체할 수 있는 이차전지의 연구개발 또한 활발하게 진행되고 있다.

이차전지는 탄소중립 핵심기술로 떠오르고 있다. 휴대폰, 노트북 등 소형 IT 기기부터 대용량 이차전지, 친환경 자동차까지 많은 분야에 사용되고 있다.

최근 유럽 의회는 2035년부터 내연기관 자동차 판매를 금지가 확정되면서 전기 자동차의 산업이 더욱더 커지고 있다.

전기 자동차의 핵심은 배터리(이차전지)이다. 배터리는 화학물질의 화학에너지를 전기화학적 산화 환원 반응에 의해 전기에너지로 변환하는 장치를 뜻한다. 모든 배터리는 양극과 음극이라는 활물질을 가지고 있으며 분리막에 의해 분리되어 있고 전해질이 양극재와 음극재 사이의 이온전달을 가능하게 하여 산화 환원 반응을 일으키게 된다. 배터리의 핵심소재는 양극재, 음극재, 분리막 및 전해질로 구성

^{1,†} 교신저자: 상지대학교 소방공학과
E-mail: kv76@sangji.ac.kr

되며 양극재의 비중이 가장 크다. 양극재의 비중이 가장 높은 이유는 전기를 저장하는 양극활 물질의 중요성 때문이다. 이차전지 원료인 하이니켈과 코발트 등의 이차전지의 금속원료와 화학첨가물 등은 Classifier Separator Mill(CSM)의 Grinding Disc의 고속으로 회전으로 해쇄된다. Grinding Disc는 마모와 부식, 고속의 회전력 및 충격에도 견뎌야 하는 특성이 요구된다. 하지만 Grinding Disc Ass'y는 수입에 의존하고 있으며, 국내 기술개발이 시급한 현실이다.

Park et al¹⁾은 한국은 이차전지 시장에서 글로벌 Top 경쟁력을 인정받으면서도 해외의존도가 높은 소재부품장비로 인해 수급의 어려움을 겪고 있으며 소재부품장비 공급망 안정화 전략이 필수적이며 한국과 일본, 중국의 이차전지 산업 생태계를 비교 분석함으로써 강화 방향성을 제시하였다. Son et al²⁾은 CFD-FASTRAN을 이용하여 시간에 따라 자동 생성되는 키메라 격자를 사용하여 가스 유동 특성과 압력을 열 유동 해석하였고, Kwag^{3,4)}은 엔진 연료실의 4개의 난류모형을 적용하여 시뮬레이션 해석과 장애물이 있는 파이프내의 유동장 수치시뮬레이션을 분석하였다. 또한 Lim et al⁵⁾은 유압 브레이크의 실린더와 피스톤의 열적 특성에 따라 어떠한 영향을 주는지 해석하고 열-구조 연성해석을 통하여 안정성을 평가하였고, Chung et al⁶⁾은 STAR-CCM+를 사용하여 엘리베이터 카 내부 기류분포에 관한 열 유동해석을 분석하였다.

따라서, 본 연구에서는 열 유동 시뮬레이션인 STAR-CCM+을 사용하여 이차전지 원료를 해쇄하는 Classifier Separator Mill(CSM)의 Grinding Disc의 회전속도(rpm) 및 Hammer의 Heat Source에 의한 온도변화를 반복계산하여 분석하였다.

2. 수치해석

2.1. 구조설명 및 해석조건

Classifier Separator Mill(CSM)의 Grinding Disc는 이차전지 원료를 해쇄할 때 열이 발생한다. Fig. 1은 본 연구에서 Classifier Separator Mill을 단순화한 형상이다. 모델링은 독일 넷츠사의 모델을 참고하여 작업하였다. 왼쪽의 Inlet 1은 이차전지 원료가 들어가는 배관이고 오른쪽의 Inlet 2는 해쇄된 이차전지 원료가 Outlet 1 압력출구로 배출될 수 있게 해주는 배관이다. Hammer의 Heat Source 값을 설정하였음

으로 Inlet 1은 압축공기만의 입구 속도를 11.572m/s 설정하였고 Inlet 2는 압축공기 입구 속도를 22.705m/s, Outlet 1은 압력출구로 설정하였다. Grinding Disc의 회전속도와 Hammer의 Heat Source에 의한 온도변화를 K-epsilon 난류, K-epsilon 난류 점성으로 반복계산하여 분석하였으며 설정값은 현재 사용되고 있는 Grinding Disc Hammer에서 발생하는 데이터 값으로 Table 1과 같다.

Fig. 2는 CSM 내 Grinding Disc 형상을 나타낸 것이다. Disc의 재질은 Alumina, Hammer는 Zirconium으로 설정하였으며 물성치 값은 Table 2과 같다.

Fig. 3는 CSM을 격자 형상으로 나타낸 것이다. Grinding Disc Hammer의 온도변화의 정확한 해석을 위하여 신뢰도가 높은 육면체 격자로 하였으며 전체 격자 수는 약 2,010,000개 이다.

Table 1 Analysis setting value of Classifier Separator Mill (CSM)

Part	Inlet 1 [m/s]	Inlet 2 [m/s]	Disc Rotation Speed [rpm]	Hammer Heat Source [W]
Set value	11.572	22.705	1000-3000	100-500

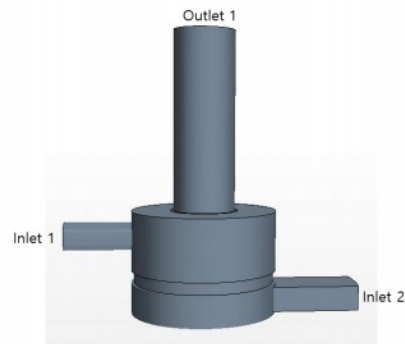


Fig. 1 Schematic diagram of Classifier Separator Mill(CSM)

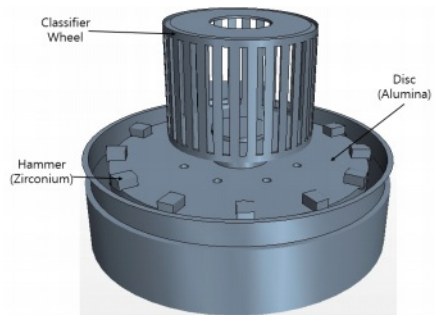


Fig. 2 Grinding disc in Classifier Separator Mill (CSM)

Table 2 Grinding Disc Material and Properties

Part	Material	Density [kg/m ³]	Thermal conductivity [W/mC]	Specific heat [m/kgC]	Young's Modulus [MPa]	Poisson's Ratio	Bulk Modulus [MPa]	Shear Modulus [MPa]
Disc	Alumina	3960	30	880000	370000	0.22	220240	151640
Hammer	Zirconium	6600	5	800000	99000	0.34	103130	36940

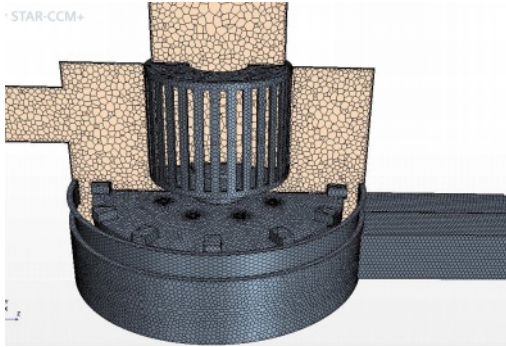


Fig. 3 Classifier Separator Mill (CSM) mesh

3. 결과

3.1. Grinding disc 1000rpm의 온도변화

Classifier Separator Mill(CSM) 내 Grinding Disc는 Disc와 Hammer로 분류할 수 있다. Disc의 Alumina와 Hammer의 Zirconium을 부착기술은 접착제이기 때문에 이차전지 원료를 해쇄할 때 발생하는 열에 의해 변형이 생길 수 있다. 그러므로 입구 속도, 압력출구, Disc의 회전속도 1000rpm의 같은 조건에서 Hammer의 Heat Source의 값을 변화를 주었을 때 발생하는 열을 반복계산하여 분석하였다.

Fig. 4는 Disc의 회전속도가 1000rpm이며 Grinding Disc Hammer의 Heat Source가 100W에서 500W 반복계산(Iteration)하였을 때 온도변화를 나타낸 그래프이다. Heat Source가 높을수록 반복계산(Iteration)의 수렴은 조금씩 높아지는 것으로 나타난다. 100W~300W의 경우 반복계산(iteration)이 약 350일 때 수렴하였고, 400W와 500W는 약 500일 때 수렴하였다.

Fig. 5는 Heat Source 100W에서 500W까지 온도변화를 나타낸 그래프이다. 100W일 때 온도는 64℃이며 200W일 때 108℃, 300W 161℃, 400W 222℃, 500W 284℃이다.

Fig. 6은 Classifier Separator Mill(CSM) 내 유속을 나타낸 것이다. 유속이 가장 빠른 부분은 압력출구

(Outlet 1) 쪽으로 Classifier Wheel의 바로 윗부분으로 약 75.558m/s로 나타난다.

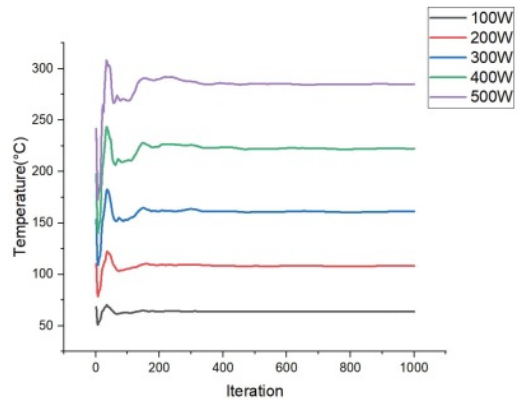


Fig. 4 Temperature graph of heat source and iteration at 1000rpm

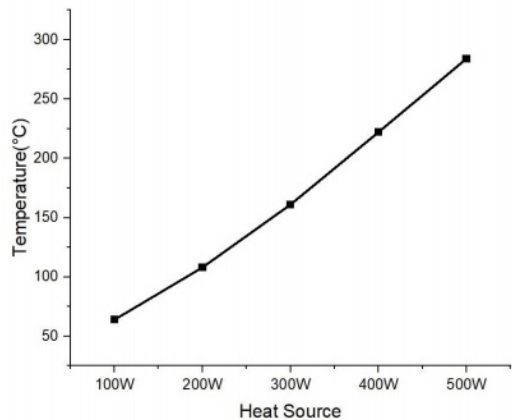


Fig. 5 Graph of temperature change of heat source at 1000rpm

3.2. Grinding disc 2000rpm의 온도변화

Fig. 7는 Disc의 회전속도가 2000rpm이며 Grinding Disc Hammer의 Heat Source가 100W에서 500W를 반복계산(Iteration)하였을 때 온도변화를 나타낸 그래프이다. Heat Source가 높을수록 반복계산(Iteration)의 수렴이 1000rpm일 때보다 높아지는 것

으로 나타난다. 100W일 때는 약 350으로 거의 유사하게 수렴되지만 200W와 300W는 약 400으로 나

사하며 유속이 가장 빠른 부분은 압력출구(Outlet 1) 쪽으로 Classifier Wheel의 바로 윗부분으로 약 76.068m/s로 나타난다.

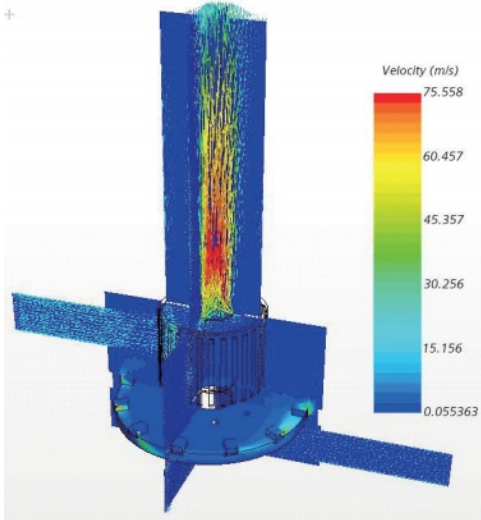


Fig. 6 Classifier separator mill (CSM) flow rate simulation at 1000rpm

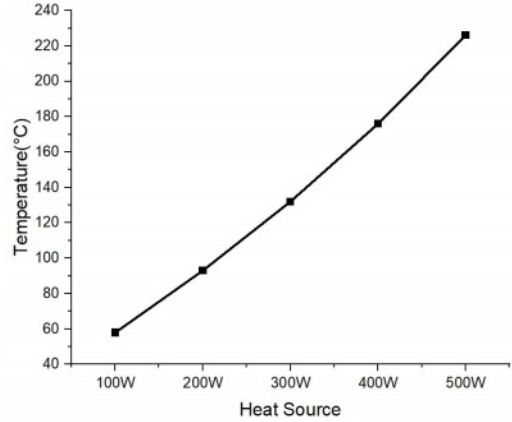


Fig. 8 Graph of temperature change of heat source at 2000rpm

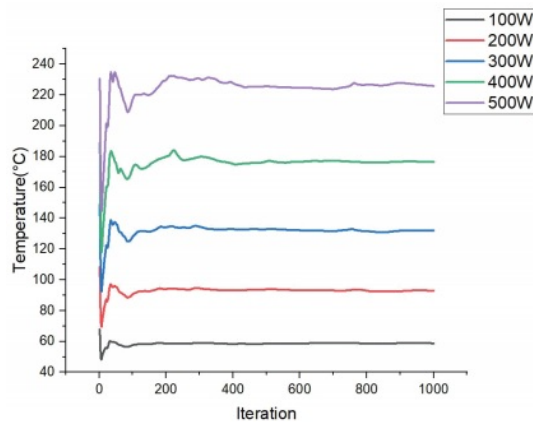


Fig. 7 Temperature graph of heat source and iteration at 2000rpm

타났다. 400W는 약 600일 때 수렴되었으며 500W는 약 900에 수렴하는 것으로 나타났다.

Fig. 8는 Heat Source 100W에서 500W까지 온도변화를 나타낸 그래프이다. 100W일 때 온도는 58°C이며 200W일 때 93°C, 300W 132°C, 400W 176°C, 500W 226°C이다.

Fig. 9은 Classifier Separator Mill(CSM) 내 유속을 나타낸 것이다. Disc의 회전속도 1000rpm일 때와 유

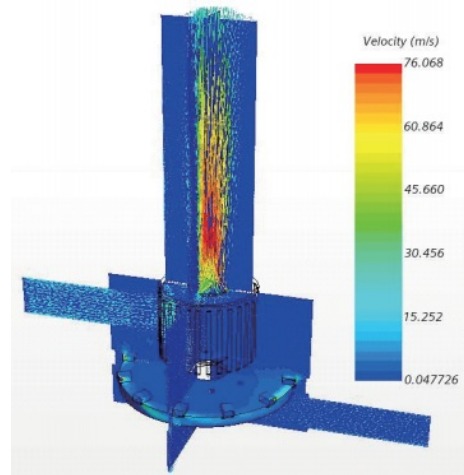


Fig. 9 Classifier separator mill (CSM) flow rate simulation at 2000rpm

3.3. Grinding disc 3000rpm의 온도변화

Fig. 10는 Disc의 회전속도가 3000rpm이며 Grinding Disc Hammer의 Heat Source가 100W에서 500W를 반복계산(Iteration)하였을 때 온도변화를 나타낸 그래프이다. Heat Source가 높을수록 반복계산(Iteration)의 수렴이 1000rpm, 2000rpm과 비교했을 때 크게 높아지는 것으로 나타난다. 100W일 때는 약 350으로 거의 유사하게 수렴되지만 200W는 900, 300W는 약 1000으로 나타났다. 400W는 약 1050일

때 수렴되었으며 500W는 약 1500에 수렴하는 것으로 나타났다.

Fig. 11는 Heat Source 100W에서 500W까지 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 100W일 때 온도는 55°C이며 200W일 때 84°C, 300W 115°C, 400W 150°C, 500W 186°C이다.

Fig. 12은 Classifier Separator Mill(CSM) 내 유속을 나타낸 것이다. Disc의 회전속도 1000rpm, 2000rpm일 때와 유사하며 유속이 가장 빠른 부분은 압력출구(Outlet 1) 쪽으로 Classifier Wheel의 바로 윗부분으로 약 75.828m/s로 나타난다.

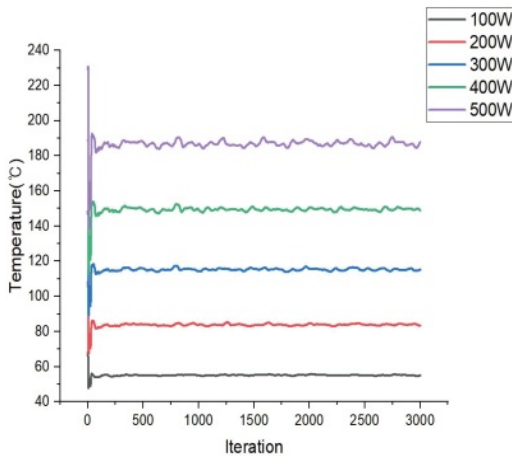


Fig. 10 Temperature graph of heat source and iteration at 3000rpm

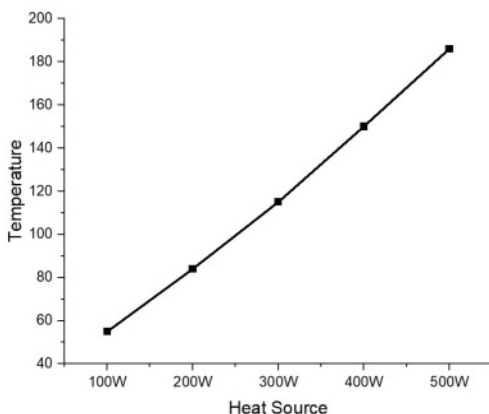


Fig. 11 Graph of temperature change of heat source at 2000rpm

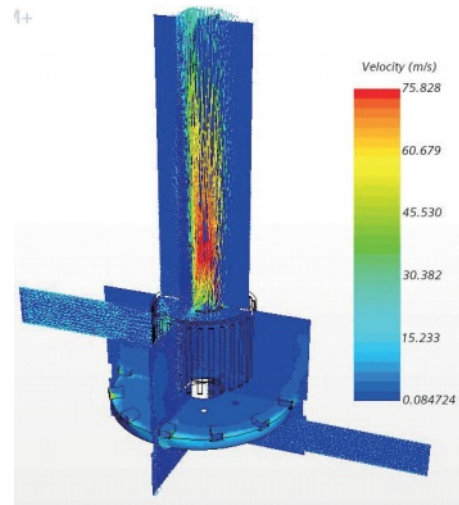


Fig. 12 Classifier separator mill (CSM) flow rate simulation at 2000rpm

4. 결론

본 연구에서는 STAR-CCM+를 사용하여 이차전지 원료 해쇄용 그라인딩 디스크 어셈블리 내 열 유동 해석을 실시하였다. Classifier Separator Mill(CSM) 내 Grinding Disc의 회전속도(rpm)와 Disc Hammer Heat Source에 의한 Disc Hammer의 온도변화를 반복계산하여 유동해석을 실시하였다.

연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) Grinding Disc의 회전속도(rpm)가 높을수록 반복계산(Iteration)의 수렴조건은 증가하는 것으로 나타난다.
- 2) Classifier Separator Mill(CSM)의 입구 속도와 Disc Hammer의 Heat Source 값이 같은 조건에서는 Disc의 회전속도(rpm)와 Hammer 온도는 반비례한다.
- 3) Disc의 회전속도(rpm)가 증가할수록 Hammer 온도는 낮아지지만, 이차전지 원료를 해쇄할 때 회전력의 강한 충격으로 마모율이 높아짐으로 적절한 회전속도(rpm) 설정이 필요하다고 사료된다.
- 4) Classifier Separator Mill(CSM) 내 유속의 가장 빠른 부분은 압력출구(Outlet 1) 쪽으로 Classifier Wheel 바로 윗부분이며, 유속의 차이는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 5) Disc와 Hammer 부착기술은 접착제이기 때문에 Hammer 온도가 높아질수록 부착점의 변형이 일

어날 수도 있으므로 높은 성능의 접착제 및 다른 방법의 부착기술 개발이 필요하다고 판단된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역혁신클러스터육성(R&D, S3089703)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

참고문헌

- 1) Park, M.J., Jun, D.J., Kang, S.G. “Korean Secondary battery industrial ecosystem”, Journal of the Korean Battery Society, Vol. 1, No. 2, p. 85-88, 2021
- 2) Son, D.H., Sohn, C.H., Ha, J.H. “Numerical Analysis of Unsteady Thermo-Fluid Behavior for Launched Body using Chimera Mesh”, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 제13권 제6호, pp. 1013~1018, 2010
- 3) Kwag, S.H. “Flow Analysis in the Fuel Chamber of Engine by Applying Turbulent Models”, Journal of Korean Navigation and Port Research, 제30권, 제5호, pp. 369~374, 2006
- 4) Kwag, S.H. “Numerical Simulation of Pipe Flow with an Obstacle by applying Turbulent Models”, Journal of Korean Navigation and Port Research, 제29권, 제6호, pp. 523~528, 2005
- 5) Lim, D.W., Park, Y.S., Shin, B.C. “Assessment of Stability of Stability of Hydraulic Breaker Cylinder and Piston Thermal-Structural coupled Field Analysis by Finite Element Method”, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 12, No. 1, 2018
- 6) Jung, K.T., Lee, J.S. “Thermal and Fluid Analysis on Air Distribution in a Elevator Car”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 1, pp. 56~62, 2020

저자소개

윤 동 민(Dong-Min Yun)

[정회원]



- 2020년 2월 : 상지대학교 소방공학과 (학사)
- 2021년 8월~현재 : 상지대학교 산학협력지원부 연구원
- 2021년 9월~현재 : 상지대학교 소방방재과 (석사과정)

< 관심분야 >
열전달 유동해석

전 용 한(Yong-Han Jeon)

[정회원]



- 2008년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2009년 4월~현재 : 상지대학교 소방공학과 정교수 재직

< 관심분야 >
열전달 유동해석