

단입자 연소 실험조건에서의 통계적 관찰

유재영* · 이후경* · 최상민*†

Statistical observation in a single particle combustion environment

Jae Young Yoo*, Hookyung Lee*, and Sangmin Choi*†

마이크론 단위의 직경을 가진 석탄은 에너지 관련 산업에서 주로 사용되어 왔으며, 고온 유동장과 수직 방향으로 비말 동반(cross-jet injection)된다[1]. 이러한 연소현상을 $T_0=298K$ 의 초기조건을 가지는 석탄 단입자를 소형 반응기 내로 투입시켜 관찰 하였다[2]. 이 뿐만 아니라 바이오매스와 플라스틱 같이 다양한 연료에 대해서도 관찰 하였다[3, 4]. 이러한 이전 연구들을 통해 다양한 현상적 결과를 관찰 할 수 있었다[5]. 하지만 이런 실험결과들은 여러 불확실성을 가지는 변수(일정하게 관찰될 수 없는 변수)들로 인해 타당하지 않는 결과들이 보일 수 있다[6]. 또한, 실험의 특성상, 수많은 실험을 할 수 없기 때문에 대표적인 실험 결과를 선택하는 데 임의성이 존재하기 마련이다. 따라서, 보다 정확한 실험을 위해 통계적으로 실험결과를 선택 할 필요가 있다.

본 연구에서는 여러 불확실성한 인자들이 존재하지만, 실험 결과에 영향을 주는 가장 기본적인 시간에 따른 입자의 위치와 속도를 통계적으로 관찰 하여 대표적인 결과를 구하고자 하였다. 또한 이동거리의 확률 분포와 상대 표준편차를 계산하고, 실험 불확실성을 정의하고 토의하여 실험의 타당성을 평가 하였다.

주요 실험 장비는 참고문헌 [2]에 표기되어 있지만, 반응기, 인젝터. 그리고 카메라는 참고문헌 [4]에 표기되어 있다. 실험의 기본 조건은 다음과 같이 결정되었다. 먼저 반응기의 산소농도는 21%, 제트 유량은 0.15 slpm, 그리고 버너 유량은 22.5 slpm으로 정하였다. 그 다음 시료는 최, 역청탄(Bituminous F), 아역청탄(Adaro), PVC로 선정되었고, 150-215 μ m의 크기 범위로 사분되었다.

위의 실험 조건들로 실험을 진행하기 위해 다음과 같은 가정들을 하였다. 첫째, 반응기 내의 제트 유량, 가스성분, 그리고 MFC 유량이 일정하다고 가정하였고, 반응기 내의 온도 및 유량 분포는 정상상태에 있었다고 가정하였다. 추가

적으로 입자의 성분이 경로에 지배적인 영향을 미친다고 가정하였다. 또한, 실험의 의도는 불확실성을 최소화하는 것이기 때문에, 단입자 모양과 크기, 버너 가스, 제트 유량, MFC 유량, 인젝터 가스의 혼합 현상과 화염과 같이 많은 변수들이 불확실성을 인해 변할 수도 있지만, 이러한 변수들은 일정하게 가정하고 시료의 종류만 바꾸어 실험을 진행 하였다.

본 연구의 실험 방법과 개념을 Fig. 1에 표시 하였다, 위와 같은 실험조건에서 각 시료의 단입자 운동을 50번 촬영하였고, 각 동영상을 분석할 때 인젝터 중심선으로부터 Fig.1과 같이 17.5mm 높이의 가로선을 그렸으며, 이 가로선을 0.5mm 구간으로 나누었다. 또한 시료마다 입자가 어떤 구간을 몇 번 지나가는지 기록하고 각 구간을 인젝터 끝부분으로부터 이동하는 거리로 변환하였다. 그 다음 각 구간의 입자 횡수를 50으로 나누어 확률을 계산하고, 확률 분포, 평균 이동거리, 상대 표준편차도 계산하였다.

실험 결과에서는 시료 종류와 확률 분포의 명확한 관계를 판단하기 어렵다고 나타났다. 이를 설명할 수 있는 이유는 주로 실험의 한계점이라고 볼 수 있는데, 실험 장비는 아래와 같이 미지수가 연소현상에 영향을 준다. 시료 단입자 같은 경우 명확한 성분, 모양, 크기, 그리고 초기조건을 모르며, 실험 장비 같은 경우 제트 유량의 누설, 반응기 내의 온도 및 유량 분포, 가스 성분, 그리고 MFC 유량을 미지수의 예로 들 수 있다.

이번 실험을 통하여 시료의 종류에 따른 입자 경로의 재현성을 관찰하였다. 또한 실험결과를 연소현상 모델링 결과와 비교할 수 있다.

후 기

본 연구는 KAIST BK21 Plus 사업의 지원으로 수행되었습니다.

* KAIST 기계공학과

† 연락처자, smchoi@kaist.ac.kr

TEL : (042) 350-3030 FAX : (042) 350-3210

참고 문헌

- [1] J. Tomeczek. *Coal Combustion*. Malabar, FL: Krieger Publishing Company, 1994.
- [2] H. Lee, S. Choi, "An observation of combustion behavior of a single coal particle entrained into hot gas flow", *Combustion and Flame* 162 (2015), pp. 2610-2620.
- [3] H. Lee, S. Choi, "Quantitative flame observation for characterizing combustion processes of different solid fuel particles", 49th KOSCO Symposium (2014).
- [4] C. Mock, S. Gu, H. Lee, S. Choi, "Experimental observation on combustion of pulverized biomass particle in the early stage", *Proc. 50th KOSCO Symposium* (2015).
- [5] H. Lee, "A study on quantitative observation and characterization of combustion processes of solid fuel particles entrained into hot gas flow," Ph.D Dissertation, KAIST, 2015.
- [6] W. Navidi. *Statistics for engineers and scientists*. New York, NY: McGraw Hill, 2008.