

단순형상 소성로에 투입된 탄산칼슘 입자의 소성반응 수치해석

이구회*, 송민정**, 장지원**, 오세천**, 김우태*

*공주대학교 기계자동차공학부

**공주대학교 환경공학과

e-mail: wtkim@kongju.ac.kr

Numerical Analysis of Calcination of Calcium Carbonate Particles Injected into a Simple Geometry Kiln

Gu Hoe Lee*, Min Jeong Song**, Ji Won Jang**, Sea Cheon Oh**, Woo Tae Kim*

*Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

**Dept. of Environmental Engineering, Kongju National University

요약

본 논문에서는 시멘트 소성공정 내에서 발생하는 탄산칼슘 입자의 소성반응과 열유동장을 상용전산열유체 프로그램을 사용하여 수치적으로 해석하였다. 소성반응과 연관된 다양한 변수들의 변화에 따라 나타나는 온도 분포, 화학종의 분포를 분석하였다.

1. 서론

시멘트 제조공정에서 원료물질을 분쇄하여 투입하면 다단 사이클론을 통과하면서 예열이 되고 아래에 연결된 예소성로에서 1차소성이 이루어지고 다시 로터리 킬른에 도달하여 2차소성이 되고 마지막으로 냉각공정을 거쳐 배출이 되는 과정을 거친다. [1, 2] 본 연구에서는 비교적 단순한 형상을 가지는 소성로 내에 탄산칼슘 입자를 투입하고 화학반응을 포함한 열유동장을 CFD 기법을 활용해 해석하였다.

2. 연구방법

본 연구에 사용된 계산영역은 사각형 단면을 가지는 유로가 90도 각도로 꺾이는 단순한 형태의 소성로이다. 일정 온도 이상을 가지는 가스가 유로로 유입되고 계산영역 중간에 원료인 탄산칼슘 입자가 투입된다. 탄산칼슘의 소성반응과 함께 열유동장을 3차원 유한체적법 기반 상용 열유동 해석 프로그램인 ANSYS FLUENT[3]를 사용하여 해석하였다. 본 연구에서 고려된 탄산칼슘의 화학반응식은 다음과 같다.

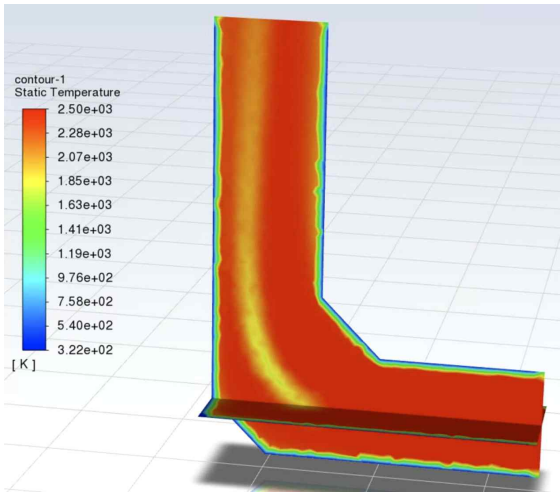


본 연구에서는 질량 보존 방정식, 운동량 보존 방정식, 난류 천이방정식, 에너지 보존 방정식을 사용하였다. 정상상태 계산을 수행하였으며 pressure-velocity coupling의 처리를 위한 수치해법으로는 SIMPLEC를 사용하였다.

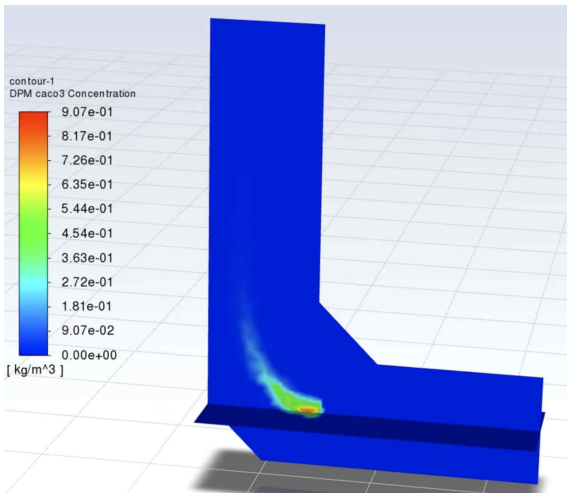
원료입자의 모사를 위해서는 Discrete Phase Model (DPM)을 사용하였고 Particle Surface Reaction을 활용해 화학반응을 고려하였다. 원료투입 위치에서 원뿔 형태로 10개의 방향으로 나누어서 균일한 직경을 가지는 탄산칼슘 입자를 주어진 유량만큼 계산 영역 내로 지속적으로 투입하면서 정상상태 계산이 수행되었다. 탄산칼슘의 소성반응에 따른 흡열효과를 효과적으로 관찰하기 위하여 계산영역 내로 유입되는 가스의 온도를 2500 K로 설정하였고 유입가스온도 변화에 따른 계산도 수행하였다. 탄산칼슘 유입유량은 1.2 kg/s, 화학반응의 activation energy는 1.236e+8 J/kg mol을 사용하였고 화학반응의 pre-exponential factor의 변화가 화학반응과 열유동장에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 결과 및 토의

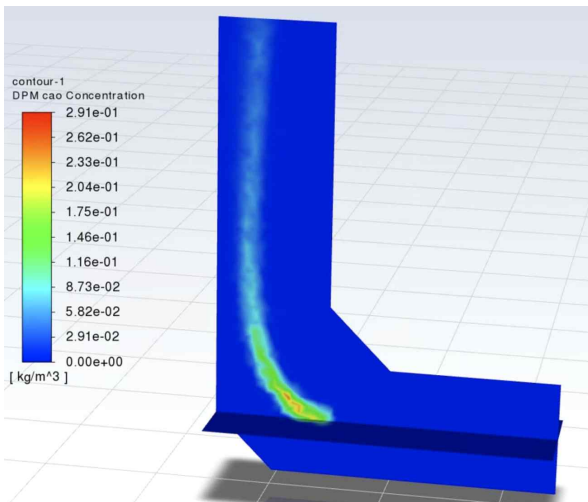
[그림 1]은 계산 영역의 주요 단면에서의 온도 분포를 나타낸다. 2500 K의 가스가 우하단의 유입구로 유입되고 탄산칼슘이 투입되어 소성반응이 진행되면서 흡열반응이 일어나면 탄산칼슘 입자 주위의 가스온도가 감소하게 된다. [그림 1]에서 탄산칼슘 반응으로 인해 중심부에서 상단부로 긴 띠 형태로 온도가 감소한 영역을 관찰할 수 있다. [그림 2]는 탄산칼슘의 농도분포를 나타낸다. 탄산칼슘은 투입된 위치 부근에서 높은 농도수치를 가지고 강한 화학반응의 진행과 함께 유동장에 실려 탄산칼슘 입자가 이동은 하지만 화학반응이 진



[그림 1] 온도 분포



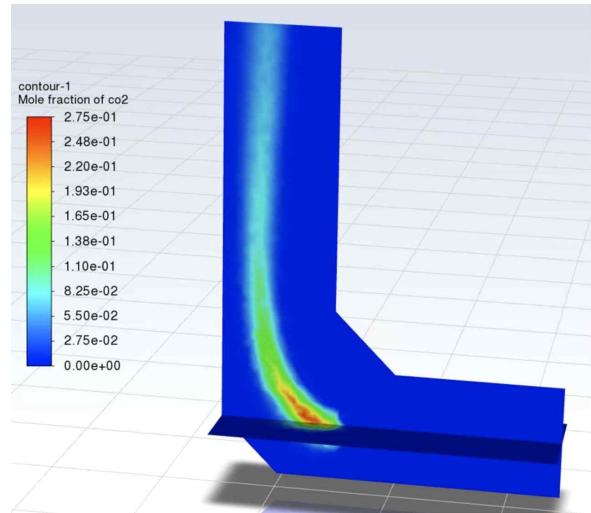
[그림 2] CaCO₃ 농도 분포



[그림 3] CaO 농도 분포

행됨에 따라 CaO로 조성이 변화하게 된다. 이는 [그림 3]의 CaO 농도 분포를 보면 알 수 있다. 소성반응으로 생겨난

CaO가 유동장에 실려 유출구까지 길게 연결되어 이동하는 것이 관찰된다. [그림 4]는 이산화탄소 농도 분포를 나타내며 CaO 농도 분포와 유사한 분포형태를 나타낸다. 실제 CaO와 이산화탄소는 동일 반응에 의해 동시에 생성되지만 CaO는 입자의 움직임에 따라 분포가 결정되고 이산화탄소는 가스상으로 생성되므로 주위 유동장의 영향을 더 많이 받게 된다. 따라서, 이산화탄소 농도 분포는 CaO 보다는 더 넓게 퍼져있는 것이 관찰된다.



[그림 4] CO₂ 농도 분포

후기

본 연구는 산업통상자원부의 한국산업기술평가관리원 소재 부품기술개발(20010607)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] T. Eom, S. Choi, "Performance Evaluation of a Multistage-Cyclone Pre-heating Calciner and a Rotary Kiln Calciner: Case of a Cement Process," J. Korean Soc. Combust., Vol. 20, No. 2, 2015, pp. 14-27.
- [2] C. Pieper, B. Liedmann, S. Wirtz, V. Scherer, N. Bodendiek, S. Schaefer, "Interaction of the Combustion of Refuse Derived Fuel with the Clinker Bed in Rotary Cement Kilns: A Numerical Study," Fuel, Vol. 266, 2020, 117048.
- [3] ANSYS Inc., ANSYS FLUENT User's Guide Release 2021 R2, 2021.