

고체 입자 연소를 위한 로켓 엔진 기반 소각로의 최적 설계 및 냉각 해석

손진우* · 손채훈*

A Study on Optimum design and Cooling Characteristics of a Rocket-Engine-Based Incinerator Devised for High Burning Rate of Solid Particles

Jinwoo Son*, Chae Hoon Sohn*

Key Words : Rocket-engine-based incinerator, Optimal design, burnout ratio, solid particle

다양한 종류의 고체 폐기물이 가정, 사무실, 산업 공장에서 생성된다. 이러한 고체상의 폐기물을 처분하는 종래의 방법은 해상 투기, 육지 매립 및 소각이 있다. 육지 매립 방법은 저장을 위한 넓은 공간이 필요하고 많은 노동력과 지하수 오염 등 2차 환경문제가 발생할 수 있다. 해상 투기 방법은 같은 환경문제를 갖고 있어 대부분의 나라에서 금지되어 있고, 또는 금지가 될 것이다.

여전히 대기오염 및 재(ash) 처리의 환경문제를 갖고 있지만 앞서 언급한 두 가지 방법에 대한 한계를 고려하여, 소각 또는 연소방법이 폐기물 처리에 적합할 것이다[1].

대부분의 소각로는 하루에 수백 톤의 연소 성능을 갖고 있고, 폐기물이 대규모로 연소되는 대형 건물의 일부로 고정되어 있다 [2, 3]. 폐기물 소각의 측면에서, 폐기물이 각 지역에서 왔을 때 한 번에 연소하는 것이 더 편리할 것이고 경제적일 것이다. 특히, 구제역과 같은 동물 질병은 정해진 장소와 시간에 발생하는 것이 아니라 무분별하게 발생하게 되므로, 이동형소각로를 이용하여 동물의 사체를 즉시 소각하는 것이 병에 걸린 사체에 의한 2차 환경오염을 방지하는 데에 도움이 될 것이다. 따라서 체적이 작은 연소로에서

일정 시간동안 많은 폐기물을 처리하기 위하여 고에너지 밀도를 갖는 소각로가 필요하다.

이러한 이유로, 본 연구에서는 현장에서의 즉시 소각이 가능한 높은 연소 속도를 가진 소형 소각로를 고안하였다. 고체 입자화된 폐기물의 처리를 위한 고성능 소각 기술 개발을 위해, 가장 높은 고에너지 밀도를 갖는 연소기인 로켓엔진 연소기에 적용되는 연소 기술을 기존 기술에 접목시킨 연소실인 로켓 로켓엔진 기반 연소실(Rocket-Engine-Based Incinerator)을 제안하였다. 이러한 새로운 개념을 가진 소형 소각로는 종래의 연소 시설보다 높은 연소성능을 목표로 설계되었고, 수치적 연구를 수행하여 상기 목적(고성능 소각로)에 부합하는 소각로 개발에 필요한 최적 설계점을 찾기 위한 연구를 수행하였다. 또한 연소실의 냉각해석을 수행하여, 정상상태 열해석에 대한 방법에 대해 연구하였다.

연소해석을 위해 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 화학종 방정식, 상태 방정식을 사용하였다.

선행연구의 해석 결과를 토대로 1차 연소실 최적 설계를 위해 연소실의 직경, 길이 비율인 직경비를 도입하여 연소실의 기하학적 특성을 동일하게 유지하면서 설계인자를 변경하였다 [4].

고체 입자의 크기가 큰 경우에는, 연소실 형상이 변경되어도 burnout ratio가 크게 변하지 않았고, 화염을 연소실 중앙에 위치하게 하는 주분사기의 편향각이 burnout ratio에 영향을 미친다.

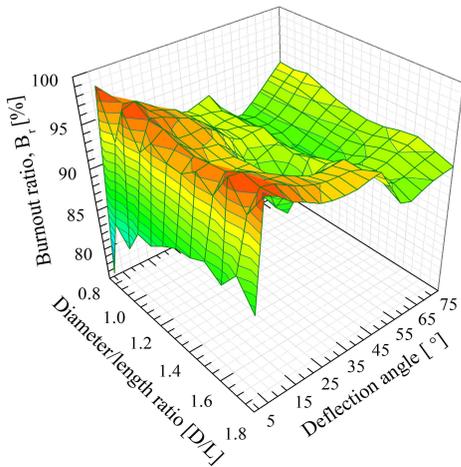


Fig. 1 Burnout ratios as the functions of the deflection angle of the primary injector and diameter/length ratio, Z

총 54 case에 대해 burnout ratio, wall heat flux를 도출하였다. burnout ratio는 wall heat flux와 반대의 경향성을 보였다. 그리고 분사기의 편향각이 5 °에 도달 할 때까지, 편향각이 감소함에 따라 burnout ratio가 증가한다. 편향각이 더 감소하면, burnout ratio가 급격하게 감소하여 $\theta_d = 0^\circ$ 가 되었을 때 화염이 안정적으로 형성되지 않았다. 작은 각도의 편향각은 화염을 연소실 중앙으로 위치시켜, 다른 각도에 비해 벽면으로의 열손실을 감소시켰기 때문에 burnout ratio가 증가하였다. 그리고 최대 및 최소 burnout ratio를 나타내는 설계점은 약 10 %의 성능 차이를 보였다.

연소실의 냉각성능 향상을 위한 아이디어를 적용하여 연소실의 냉각해석을 통한 냉각효율을 분석하였다. 실제 연소실에 사용하는 냉각 방식인 water cooling 방법을 적용하여, 연소실의 적정 두께와 냉각수의 적정 분사량을 선정하였다. water cooling의 경우, 연소실의 벽이 두꺼울수록 외벽으로 전달하는 열전달률이 감소하여 벽면의 온도가 상승하였다. 해석 결과를 바탕으로 고온, 고압의 환경을 견딜 수 있도록 연소실 벽의 적정 두께를 6 mm로 설정하였다.

air film cooling을 적용해 water cooling과 함께 복합냉각 방식에 대한 연구를 수행하였다. air film cooling은 주 유동의 방향과 냉각공기의 분사 방향이 다를 경우 냉각성능이 현저하게 감소하는 것을 확인하였다. 연소실의 연소해석 결과, 냉각공기의 분사량에 따라 벽면의 온도와 heat flux가 감소하였다. 특히, air film cooling 과 water cooling을 둘 다 적용한 복합냉각 방식에서 더 우수한 냉각성능을 보였다.

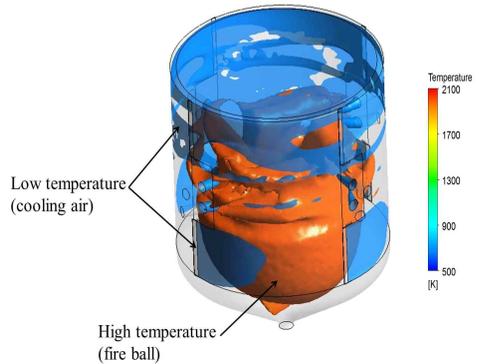


Fig. 2 Isosurfaces of the temperature at 600K for the air film cooling

후 기

본 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2013-023030).

참고 문헌

- [1] B.J. Buhre, L.K. Elliott, C.D. Sheng, R.P. Gupta, T.F. Wall, "Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation", Prog Energy Combust Sci., Vol. 31, 2005, pp. 283 - 307.
- [2] K.C. Choi, N.C. Sung, B.H. Bae, S.H. Jang, J.M. Suh, "Waste Incinerator" Seoul, Korea: Munwha Publishing Co., 2000.
- [3] P. Basu, C. Kefa, L. Jestin "Boilers and burners : Design & theory", New York: Springer-Verlag, 2002.
- [4] J.W. Son, S.H. Kim, C.H. Sohn, "On burnout performance of a rocket-engine-based incinerator devised for high burning rate of solid particles", Fuel, Vol. 117, 2014, pp. 478-487.