금속분말 연소기의 slag 제거기법 개념 설계 및 Water Film 형성 조건 기초실험

김광연*† · V. Shmelev** · 고현* · 이성웅* · 조용호*

Conceptual Design of the Slag Removal Method in the Metal Powder Combustor and Condition Tests for the Water Film Formation

Kwangyeon Kim*† · V. Shmelev** · Hyun Ko* · Sungwoong Lee* · Yongho Cho*

ABSTRACT

One of the issues that occurs in development of a combustor using Metal Powder as a fuel is an alumina slag processing. A water film formed inside the combustor is expected to be able to solve this issue. The experiments about the formation of a water film were carried out as a preliminary study. As the tangential velocity of water jet is increasing, the angle derivation from horizontal is decreasing for the test model. Results of the experiments showed that the thin water film on the inner surface appeared at the velocity of 10~15 m/s.

초 록

금속분말을 연료로 하는 연소기 개발에 있어 발생하는 문제점 중에 하나는 알루미나 slag 처리이다. 연소기 내부에 Water film을 형성시킴으로써 금속분말 연소기의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 기대한다. 이를 위한 선행연구로 water film의 형성 조건에 대한 실험을 수행하였다. 실험 모델에 대하여 물 분사 속도가 증가할수록 원형 모델에 대한 water fim 각도가 작아져, 약 10 m/s이상에서 완전한 water film이 형성되는 것을 알 수 있었다.

Key Words: Slag-free Metal Powder Combustor(Slag-free 금속분말 연소기), Water Film(수막), Aluminum-water Combustion(알루미늄-물 연소)

1. 서 론

최근 고에너지원과 청정에너지로서 금속분말의 연소기에 대한 시스템 연구가 진행되고 있다. 안정적인 금속분말의 연소를 통해 군사·산업적으로 다양한 활용방안이 연구되고 있다. 이러한 금속분말의 연소를 위해 Miller 등[1]은 직경 5.1

* ㈜ 마이크로프랜드 특수사업부
** Combustion Lab of ICP RAS
† 교신저자, E-mail: gnuisu@microfriend.co.kr

cm, 길이 91 cm의 연소기를 이용하여 알루미늄/마그네슘 분말 연소 시험을 수행하였다. 700 K의 증기와 알루미늄 분말을 동축형 인젝터로 예혼합하여 공급하였다. 그러나 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 점화부로부터 연소기 출구 전역에 걸쳐 고체상의 알루미나 slag가 축적되는 것으로 보고되었다. 약 2500K의 알루미늄-물 연소반응열에 의해 연소반응으로 생성된 알루미나와 연료로 사용된 알루미늄의 oxide cap이 녹아 복합체를 이루어 상대적으로 차가운 연소기 벽에 축적되는 것으로 알려져 있다[1]. 이렇게 생성된 알루미나 slag에 의해서 연소실 내부의 유동 불균일과 출구 노즐목의 크기가 제한되는 문제를 제기하였다. 본 연구는 ICP RAS(Semenov Institute of Chemical Physics Russian Academy of Sciences)와 공동연구를 통해 water film을 이용한 slag-free 연소실 개념 설계를 수행하였고, 이를 위한 선행연구를 수행하였다.

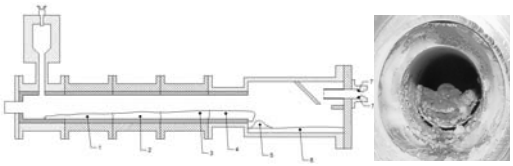

Fig. 1 Disposition sketch of alumina slag accumulation[1]

2. Slag 제거 기법

L. El-Guebaly 등은 thin water film을 이용하여 열로부터 연소기를 보호하고 연소시 내에 축적되는 방사성 폐기물 제거 시스템에 대해 연구하였다[2]. L. El-Guebaly의 연구에서 water film을 형성하기 위해 tangential injection과 porous wall injection 2가지 방법을 제안하였다. Porous wall injection의 경우 Fig. 2와 같이 porous wall과 공급 채널이 추가됨으로써 구조적으로 복합하기 때문에 본 연구에서는 구조상 간단한 tangential injection 방법을 도입하여 연소기 내 slag를 제거하는 개념을 선정하였다.

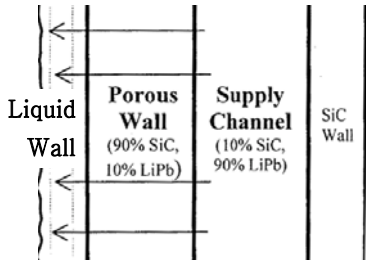

Fig. 2 Representative radial build for the porous wall injection scheme[2]

금속분말 연소기에서 물을 이용하여 water film을 형성할 경우 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다[3].

a. 고체 알루미나 slag 퇴적 방지 및 배출
b. 연소기 챔버 냉각
c. 연소시 발생하는 복사에너지에 의해 water film을 형성하는 물이 수증기화 하여 산화제로서 미연소된 알루미늄과 연소 반응

3. Water film 형성 모델 실험

연소기 내부에 water film을 도입한 slag 제거 기법을 도입하기 위해 water film 형성을 위한 분사 속도에 대한 실험을 수행하였다. 실험은 수직 설치된 직경 80 mm의 플라스틱 원형 챔버에 대해서 수행되었으며, 1.2 X 5 mm의 사각 노즐을 물 인젝터로 사용하여 Fig. 3와 같이 실험장치를 구성하였다.

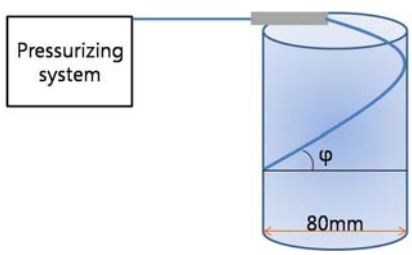

Fig. 3 Schematic of Water Film Test

물의 분사 속도를 증가시키며 5가지 속도에 대한 수평에 대한 각도를 측정하여, 원형 챔버 내부 전체에 water film이 유지되는 분사 속도를 찾아내었다.

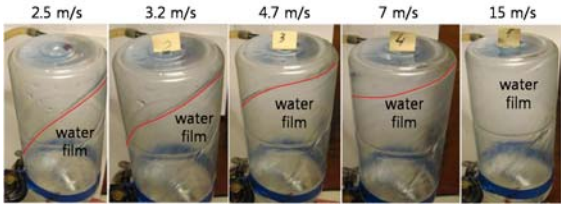

Fig. 4 Photo of the angle in dependence of the tangential velocity.

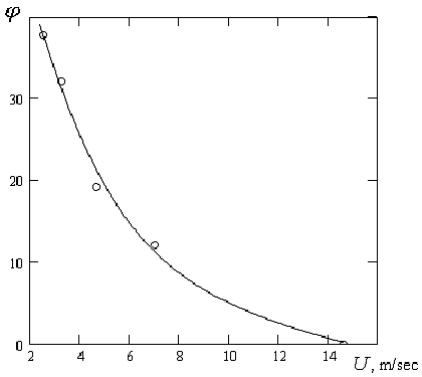

Fig. 5 Dependence the angle from input tangential velocity of the water jet

Figure 4, 5에서 나타난 바와 같이 접선 방향 속도가 증가할수록 연소기 내부의 water film의 수평에 대한 각도가 점점 줄어들어 약 10 m/s 이상에서 5°이내가 되어 챔버 내부 전면에 water film이 형성되었다. 약 15 m/s의 속도에 대해서 0°에 가까우므로, 실험 모델에 대해서는 10~15 m/s의 접선 주입 속도를 가질 경우, 완전한 water film이 형성된다고 볼 수 있다. 이 때 물 소모량은 80 g/s이었다.

4. Water film을 적용한 연소기 시스템 개념

모델 실험으로 수직으로 설치된 원형 챔버 내부에 water film을 형성시키는 조건을 찾아내었고, 이를 기반으로 접선방향으로 물을 분사하여 water film을 형성시켜 slag를 제거하고, 연소기 챔버를 열로부터 보호할 수 있는 금속분말 연소기 시스템의 개념 설계안을 작성하였다. 개념 설계안은 Fig. 6에 나타내었다.

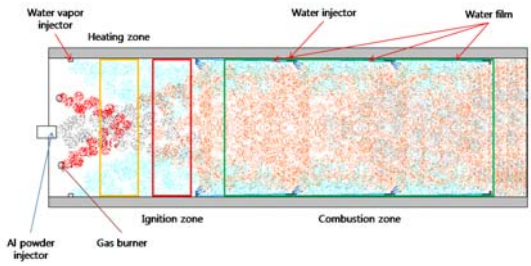

Fig. 6 Schematic design of Slag-free combustor

Figure 6에서 Al powder injector를 통해서 알루미늄 분말이 공급되고, Gas burner를 열원으로 하여 Heating zone에서 초기 산화피막 제거를 위해 알루미늄 분말을 가열하게 된다. 가열된 알루미늄 분말은 Water vapor injector에서 분사된 수증기에 의해 Ignition zone에서 알루미늄-물 연소반응이 시작된다. Water injector에 의해 접선 방향으로 주입된 물에 의해 연소기 내부에 water film이 형성되고 이를 통해, slag 제거 및 연소기 냉각이 이루어지게 된다. 또한, 연소열에 의해 물의 일부가 수증기화되어, 미연소된 알루미늄과 반응하게 된다.

5. 결론 및 향후 연구방향

금속분말 연소기의 Slag 제거를 위한 시스템 구현을 위한 선행연구로 가스 유동이 없는 상태에서의 water film 형성 조건에 대한 실험을 수행하였다. slag-free 금속분말 연소기에 적용하기 위해서는 물 소모량, 물 인젝터 형상 최적화 등의 물 주입 조건에 대한 연구와 water film에 의한 열전달 해석 및 실험이 요구된다. 또한, 실제

연소기에서는 내부 가스 유동장이 water film의 안정성에 영향을 끼치므로, water film의 안정성에 대한 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

1. Timothy F. Miller, John D. Herr, "Green Rocket Propulsion by Reaction of Al and Mg Powders and Water," 40th AIAA Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA 2004-4037, July 2004
2. L. El-Guebaly, P. Wilson, D. Henderson, L. Waganer, R. Raffray, “Radiological Issue for the Thin Liquid Walls of ARIES-IFE Study“, Fusion Science and Technology, 2003, pp.405-409
3. V. Shmelev and V. Nikolaev, “Joint Research Development of Fundamental Study of Combustion Mechanism of Powdered Metal in Water Medium“, 2011