

알루미늄입자의 유체화, 이송 및 점화에 대한 연구(I)

이선기* · 권수현* · 이병준** · 송동주* · 이지형**

Development of aluminum powder feeding system

Sunkey Lee, Suhyeon Kweon, Byeong-Jun Lee, Dong Joo Song, Ji Hyung Lee

ABSTRACT

Experiments were conducted to get the design concepts for the continuous aluminum particle feeding system. Two opposed cylinders were used. Aluminum particles in one cylinder were ejected to the air by the supplying gas and the pressure of the other cylinder. It was not possible to eject more aluminum mass flowrate than that of gas if particles were just thrust by the pressure difference between two cylinders. Aluminum particle/air mixture in the flow system was successfully ignited by the electric spark.

Key Words : Aluminum particle, Flow of aluminum particle, Aluminum powder ignition

알루미늄 입자는 값이 싸고 다루기 쉬우며 단위 질량당 방출하는 에너지가 4,200Wh/kg(혹은 11,427 Wh/l)로 크고 연소후 안정된 화합물로 변환되기 때문에 고체추진제나 추력보조제 등으로 사용하기 위한 연구가 많이 진행되었다. 알루미늄은 일반적으로 사용되는 산화제인 공기/산소와 반응할 뿐만 아니라 물, CO₂, CO 및 N₂O 등과도 반응한다.[1,2] 물과 반응하는 경우에는 수소와 많은 열을 발생하므로 수소 발생원과 동력발생원으로 사용[3,4]하기 위하여, 또한 이를 수중추진제로 사용하는 경우에는 산화제를 별도로 구비할 필요가 없어서 단위 무게당 추력을 증가시킬 수 있으므로 수중추진제로 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 행성에 알루미늄 성분이 많이 있는 것으로 알려져 있으므로 이를 우주 로켓으로 이용하기 위한 연구도 이루어지고 있다.

그러나 알루미늄은 그 표면에 대단히 안정한 산화알루미늄 피막이 형성되어 있고 열전도도가 높기 때문에 점화온도가 2053°C로 높고 많은 점화에너지를 필요로 한다. 알루미늄입자의 직경이 100μm이하로 줄어들면 표면적이 늘어나고 반응성이 증가하여 나노입자인 경우에는 560°C~800°C에서도 점화가 일어난다[5].

따라서 알루미늄을 사용하여 고에너지를 얻고자 하는 경우에는 직경이 작은 입자를 연속으로 다량으로 공급하여 주어야한다. 연속적인 알루미늄 입자를 공급하기 위한 기초 실험을 수행

하였으며 이에 대한 보고를 하고자 한다.

알루미늄 입자를 원하는 공간에서 체트와 같이 분출시키기 위하여 공기 실린더에 입자를 채우고, 이 실린더(이하 입자용 실린더)에 운반기체를 통과시켜 입자가 운반기체와 함께 이송되도록 하였다. 운반기체에 의하여 배출된 입자가 차지했던 공간을 메워주기 위하여 실린더의 피스톤을 밀어주도록 실린더(이후 가압용 실린더) 하나를 더 사용하고 서로 대칭이 되도록 배치하였다 (Fig. 1 참조).

실험 장치는 크게 유량제어부, 측정부 및 가시부로 나뉜다.

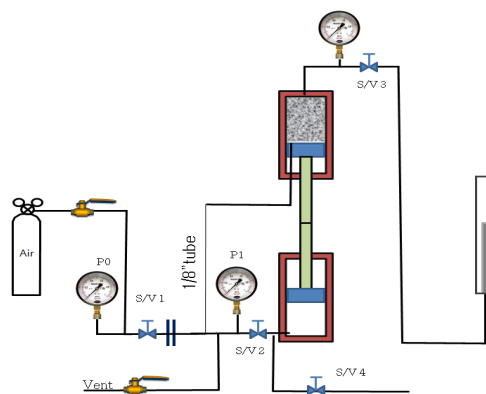


Fig. 1 Schematic diagram of particle feeding system.

유량제어부는 유체의 유량과 흐름에 영향을 미치는 부분으로써 압력용기 후단에 놓인 유량조절용 밸브(소닉노즐, metering valve), 압력조절용 1/8"관, 유동제어용 솔레노이드 밸브등으로

* 영남대학교 기계공학부

** 국방과학연구소

† 연락처자, bjlee@yu.ac.kr

TEL : (053)810-3526 FAX : (053)-810-4627

구성된다. 솔레노이드 밸브는 유량조절밸브 전, 가압용 실린더 입·출구 및 입자용 실린더 출구에 장착하여 유체 및 유동의 공급과 차단에 사용하였다. 실험에 사용된 실린더는 직경 80mm의 피스톤을 장착한 150mm stroke의 공압 실린더이다. 입자용 실린더 내부에 장착되는 피스톤은 유체공급과 입자방출을 할 수 있도록 가공하였다. 측정부는 압력센서, 포텐션 미터 및 data acquisition system으로 구성되어 있다. 압력은 압력용기 출구, 입자용 실린더 전, 입자용 실린더 내부, 입자용 실린더 출구에서의 측정하였다. 실험 중에 피스톤의 이동을 살피기 위하여 가압용 피스톤의 위치변화를 포텐션미터로 측정하였다. 압력신호와 photodiode 신호를 측정하였다.

가시화 부는 레이저 다이오드, 포토다이오드, 캠코더로 구성된 입자의 분출 양상을 살펴보기 위한 부분이다. 1W의 레이저를 평면 광으로 펼쳐서 분출되는 입자에 조사하고, 산란되는 빛을 캠코더로 녹화하기 위하여 거동을 살펴보았다.

본 연구에 사용한 알루미늄입자의 평균 직경은 7.3 마이크로 미터이다.

알루미늄 입자의 점화 실험은 전기점화를 위한 전극을 장착한 외경 1/2", 길이 1m의 석영관을 Fig1의 노즐부에 장착하여 수행하였다.

질소(혹은 공기) 고압용기의 압력을 정해진 압력으로 맞춘 후, 그림 2의 솔레노이드 밸브 S/V1, S/V2를 전기신호로 열면 입자용 실린더와 가압용 실린더의 압력이 올라가면서 유체가 채워지고, 일정 시간 후에 S/V3를 열면 입자/유체 혼합물이 1.7m길이의 1/4"관을 거쳐서 직경 2m, 길이 10cm의 노즐을 통하여 대기중으로 방출된다. 전기신호로 S/V3, S/V1을 닫고, S/V4를 열어 실험을 종료하였다.

Fig. 2는 1/8"관 50cm를 입자가 차있는 입자용 실린더의 유로 중간에 연결하여 입자분출 실험을 수행할 때, 시간과 정체압에 따른 각 부분의 압력과 피스톤의 위치변화를 나타낸다. 출구밸브가 열리기 전인 0~8초 사이는 위·아래 실린더에 유체가 채워지는 기간으로서, 두 실린더 내부의 압력이 유사하게 올라감을 볼 수 있다. 입자용실린더의 출구 밸브를 열면 유체유동이 유발되므로 실린더 내부에서의 압력은, 유동속도, 전체 시스템의 수두손실, 공급되는 전압력, 외부의 대기압 사이의 관계에 의하여 결정된다. 두 개의 실린더 입구로 공급되는 라인이 하나이므로, 유동이 유발되면 압력용기로부터 두실린더로 분지되는 분지점 사이의 압력손실에 의하여 가압용실린더 입구 압력 또한 저하됨을 볼 수 있다. 출구 밸브를 개방한 후 약 7초가 경과하면 정상상태에 도달함을 볼 수 있다.

입자가 차있는 실린더를 통과하면서 유체의 압

력손실이 많이 발생하므로 입자용실린더 출구의

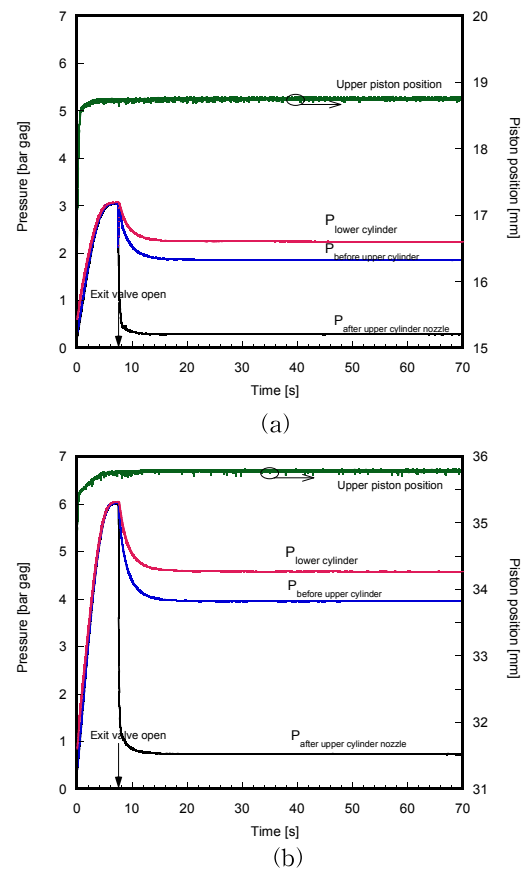


Fig. 2 Time history of the pressure and the movement of the piston when the stagnant pressure is (a) 3bar, (b) 6bar

압력은 입구의 압력에 비하여 많이 강하함을 볼 수 있다. 정체압을 계기압력으로 3bar로 하는 경우나, 6bar로 하는 경우 모두 동일한 경향임을 볼 수 있다. 이는 두 경우 모두 압력이 유체역학적으로 결정되고, 유체와 함께 배출되는 입자의 영향이 크지 않음을 의미한다. 두 경우 모두 피스톤은 실린더내로 압력이 채워지는 순간에만 움직이고, 그 후에는 거의 움직이지 않음을 볼 수 있다. 이는 위·아래 실린더의 압력차가 크지 않은 것과 분출되는 입자의 양이 많지 않은 것을 이유로 꼽을 수 있다.

Fig. 3은 나노 알루미늄 입자를 사용한 경우의 점화 실험 결과를 나타내는 사진이다. 전기스파크에 의하여 점화되어 석영관 내부에 알루미늄 화염이 형성됨을 보여준다.

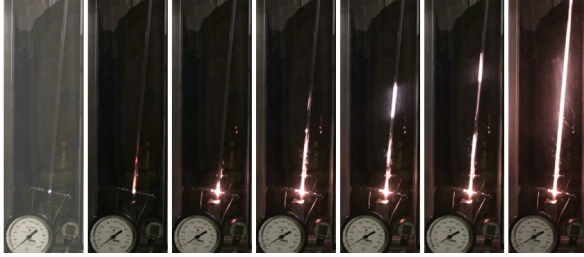


Fig. 3 Ignition of the flowing nano-aluminum powders.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원(과제번호: 09-01-05-22)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Mirko Schoentiz, Chi-Mon Chen, Edward L. Dreizin, “ Oxidation of Aluminum Particles in the Presence of Water”, J. Phys. Chem. B 2009, 113, 5136-5140
- [2] J.F.Widener and M.W. Beckstead” Aluminum combustion modeling in solid propellant combustion products,” AIAA-98-3824 (1998)
- [3] Babak Alinejad, Korosh Mahmoodi, “ A novel method for generating hydrogen by hydrolysis of highly activated aluminum nanoparticles in pure water”, International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 7934-7938
- [4] Federica Franzoni, Massimo Milani, Luca Montorsi, Valeri Golovitchev, “ Combined hydrogen production and power generation from aluminum combustion with water: Analysis of the concept”, International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) 1548-1559.
- [5] Mikhaylo A. Trunov, Mirko Schoenitz, Edward L. Dreizin, “ Ignition of Aluminum Powders Under Different Experimental Conditions”, Propellant, Explosives, Pyrotechnics 30 (2005), No.1