

노즐 표면 삭마 미케니즘에 대한 고찰

이태호*

Study on the Nozzle Surface Regression Mechanism

Tae-Ho Lee*

ABSTRACT

It is well known that there are three mechanisms in the nozzle surface regression, namely ablation, mechanical erosion and chemical corrosion. There are Analogies among these three mechanisms. In order to compare the order of the magnitude of these mechanism, the analogy was adapted and the Mach number of the gas flow was expressed by the nozzle shape(location).

초 록

추진기관 노즐 삭마에 대한 연구 결과를 보면 이 삭마라 불리는 현상에는 용삭(Ablation), 기계적 침식(Erosion), 그리고 화학적 부식(Corrosion)의 3가지 형태로 일어난다고 알려져 있다. 또 이 3가지 현상은 각각 작동 원으로 열전달 계수, 전단력, 화학적 농도 구배 등을 사용하여 표현 할 수 있다. 이 3가지 현상에 대하여 상관관계를 상사 해석 방법을 채택하고, 노즐 내벽의 가스 유속 즉 마하수를 노즐 형상(위치)의 함수로 표시하고 보면 총 삭마 현상을 각각의 현상의 크기를 비교해 볼 수 있다. 이 비교를 통하여 상호 크기를 비교해 본다.

Key Words: Ablation(용삭), Erosion(침식), Corrosion(부식), Surface Regression(표면 삭마), Geometric factor(형상계수)

1. 서 론

고체 추진기관에서 노즐의 형태를 초기 설계 제작된 대로 유지하는 것은 성능을 고려할 때 주요한 일이다. 그러나 고온 고속의 가스유동은 삭마라 불리는 형태로 노즐의 벽면을 변형시킨다. 이와 같은 노즐의 형상 변화는 실제 성능에도 중요할 뿐 아니라 추진기관 안전과도 직결되는

요인이다. 따라서 이에 대한 연구는 이미 오래전 부터 되어 왔고 현 시점에서 볼 때 어느 면에서 보면 추진기관 개발에 그리 큰 문제로 대두되지는 않는 상태이다. 그리고 이 삭마 현상에 대해서는 열전달 계수와 연관 시켜서 예측하고 있다. 즉 삭마 현상에 대해서 뭉뚱그려 열전달 계수와 의 관계를 예측 설계한다는 뜻이다.

추진기관 노즐 삭마에 대한 연구 결과를 보면 이 삭마라 불리는 현상에는 용삭(Ablation), 기계적 침식(Erosion), 그리고 화학적 부식(Corrosion)의 3가지 형태로 일어난다고 알려져

* 국방과학연구소, 기술-기획
E-mail: ltaho0547@hanmail.net

있다^{4,5}. 또 이 3가지 현상은 각각 작동 원으로 열전달 계수, 전단력, 화학적 농도 구배 등을 사용하여 표현 할 수 있다. 이 3가지 현상에 대하여 상관관계를 상사 해석 방법을 채택하고, 노즐 내벽의 가스 유속 즉 마하수를 노즐 형상(위치)의 함수로 표시하고 보면 총 삭마 현상을 각각의 현상의 크기를 비교해 볼 수 있다⁶. 이 비교를 통하여 상호 크기를 비교해 본다.

2. 주요 결과

열전달 관계식에서 용삭 양은 예측된다. 그리고 열전달 양은 노즐의 위치에 따라 달라지고 이것은 노즐 내의 벽 위치에 따라 경계층 두께가 형성되기 때문이다⁷. 경계층 두께는 노즐 내의 마하수 함수이고, 경계층 두께를 예측하는 방법으로 형상 계수를 도입한다.

또 이형상 계수와 마하수의 관계를 노즐 위치로 나타낼 수 있으며 이것이 Fig. 1이다. 또 마하수에 따라서 형상고정 계수를 표시할 수 있다. 이를 이용하여 용삭과 부식은 열전달에 침식은 마하수와 직접적인 관계가 있음을 알고 있기 때문에 이 모두를 마하수가 포함되는 고차 항의 함수로 표시하고 각 항의 계수 크기를 비교하여 중요도를 알아 볼 수 있다.

3개의 모타를 사용하여 삭마 량을 위치 별로 측정하였다. 또 경계층 해석에서 용해에 수반되는 blowing 효과는 무시하였다.

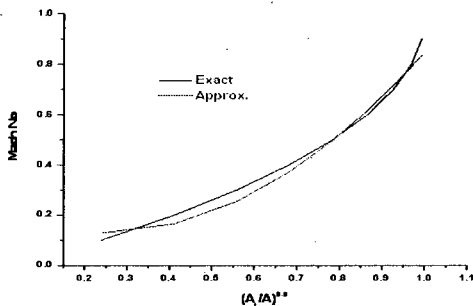


Fig 1. Approximation of the Mach number and geometric factor

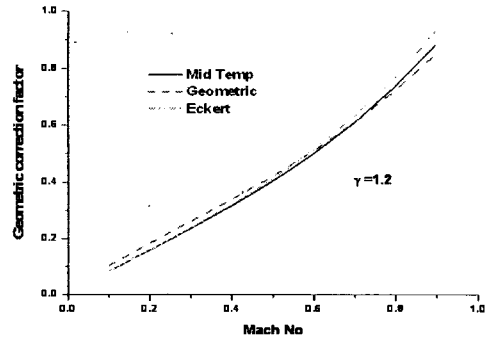


Fig. 2 Mach number vs geometric factor

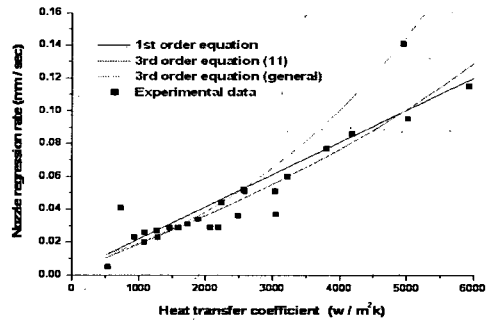


Fig. 3 Heat transfer coefficient and regression rate

Table 1 Dimensions and characteristics of test motors and nozzles

Motor no.	Motor1	Motor2	Motor3
$P_c(kPa)$	3.95	0.86	3.17
Burn time(sec)	39	110	58.2
Length of grain(mm)	777	777	970
Throat dia.(mm)	15.7	20.2	15.8
Nozzle exit dia.(mm)	33	33	33

3. 결론

침식 현상은 마하수의 2차 항도 포함되어 표시되나 실제 실험 결과는 마하수의 일차 항에 의존되어 나타나고 있어 침식 효과는 상대적으로 적다는 것이 간접적인 방법에 의해 밝혀졌다.

참 고 문 헌

1. Fairall, R. S. , Clark, L. C. , Davis, H. O. , and Shefil, L. , "The Mechanism of Insulation Surface Regression in Rocket Motors," *Aerospace Chemical Engineering*, Vol. 62, No. 61, 1964, pp.44-54.
2. Marthieu, R. D. , "Mechanical Spallation of Charring Ablators in Hyperthermal Environments," *AIAA Journal*, Vol. 2, No. 9, Sept. 1964, pp.1621-1627.
3. Schneider, P. J., Dolton, T. A., and Reed, G.W. , "Mechanical Erosion of Charring Ablators in Grounds Test and Re-Entry Environments," *AIAA Journal* Vol. 6, No. 1, Jan. 1968, pp. 64-72.
4. Bartz, D. R., "Turbulent Boundary Layer Heat Transfer from Rapidly Accelerating Flow of Rocket Combustion Gases," *Advances in Heat Transfer*, Vol. 2, Academic Press, New York, 1965, pp.11-109
5. Cornolisse, J. W., Schoyer, H. F. R., and Wakker, K.F., "Heat transfer in the rocket motor," *Rocket Propulsion and Spaceflight Dynamics*, 1st ed., Pitman Publishing, London, 1979, pp160-166.
6. Lee, Tae- Ho," Experimental Study of the Nozzle Surface Regression Rate to the Heat Transfer", *Journal of Propulsion and Power*, Vol.22, No.1, Jan_Feb. 2006, pp 221-2246.
7. Lee, Tae-Ho and Bae, J. C., "Boundary Layer Displacement Thickness and the Rocket Chamber Pressure," 26th Joint Propulsion Conference, AIAA 90-2211, Orlando FL. July 16-18, 1990.
8. Gowariker, V. R., "Mechanical and Chemical Contributions to the Erosion Rates of Graphite Throats in Rocket Motor Nozzles," *Journal of Spacecraft*, Vol. 3, No. 10, Oct. 1966, pp. 1490-1494
9. Chung, J. N. and Lee, Tae-Ho, "A Mathematical Model of Condensation Heat and Mass Transfer to a Moving Droplet in its Own Vapor," *Journal of Heat Transfer*, Vol. 106, No. 2, May 1984, pp417-424.