

액체로켓엔진 고고도 모사용 2차목 초음속 디퓨저 설계변수에 따른 특성 고찰

문윤완* · 이은석*

Investigation of Characteristics of Second Throat Exhaust Diffuser for Simulating High-Altitude of Liquid Rocket Engine According to Design Parameter

Yoonwan Moon* · Eun-Seok Lee*

ABSTRACT

The vacuum chamber pressure was investigated according to the second throat exhaust diffuser entrance diameter. The sizes of diffuser entrance were changed three cases, and each case was computed by using CFD. Also in order to relatively compare the vacuum chamber pressure the Euler equation was adopted. According to the results, as the size of diffuser entrance was increased it was observed that the vacuum chamber pressure was decreased.

초 록

2차목 초음속 디퓨저 입구 직경에 따른 진공실 압력 변화를 고찰하였다. 디퓨저 입구는 세 종류로 변화시켰으며 각각의 경우에 대해 전산유체역학을 통해 계산을 수행하였다. 디퓨저 입구 크기에 따른 진공실의 압력 변화를 빠르게 상대비교하기 위해 비점성으로 가정한 Euler 방정식을 지배방정식으로 채택하였다. 결과로부터 디퓨저의 입구크기가 증가하면 진공실의 압력은 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

Key Words: Second Throat Exhaust Diffuser(2차목 디퓨저), Vacuum Pressure(진공압), Diffuser Entrance Size(디퓨저 입구 직경)

1. 서 론

로켓엔진의 상단 엔진은 성능을 최대한으로 내기 위해 희박대기 또는 진공 환경에서 작동하

게 설계되므로 노즐 출구에서 과팽창된다. 그러므로 지상 대기 조건에서는 시험을 수행하기 어려우므로 고공 환경을 모사할 수 있는 설비가 필요하다. 고공 모사용 디퓨저는 지상에서 고공 환경을 효과적으로 모사할 수 있는 설비로 알려져 있다. 고공 모사용 디퓨저의 종류는 원통형

* 한국항공우주연구원 엔진팀

† 교신저자, E-mail: ywmoon@kari.re.kr

초음속 디퓨저, 2차목 초음속 디퓨저 및 근래 연구들을 많이 하고 있는 중앙체 디퓨저(center body diffuser)가 있다. 이중 가장 많이 사용되고 있는 2차목 초음속 디퓨저는 원통형 디퓨저에 비해 매우 효과적으로 고공 환경을 모사하는 것으로 알려져 있다[1].

본 연구에서는 2차목 초음속 디퓨저를 기본 개념으로 하여 다양한 설계변수 중 디퓨저의 입구 크기 변화에 따른 진공실의 배압 변화를 주로 고찰하였다.

2. 수치해석 및 계산 조건

고고도 2차목 초음속 디퓨저의 2차원 초음속 유동장을 해석하기 위해 난류 유동장을 계산하여야 하나 진공실의 진공도를 상대적으로 쉽고 빠르게 비교하기 위해 비점성 유체로 가정하여 오일러 방정식을 풀었다. 작동 유체 또한 공기로 가정하였고 그에 따른 계산을 수행하였다. 이는 빠르게 계산할 수 있는 장점은 있지만 정확한 값은 제시하지 못하므로 추후 실제 조건에 맞게 변경해야 할 것으로 생각된다. 방정식을 풀기 위해 유한체적법을 사용하였고 공간차분은 Roe-FDS를 사용하였다.

계산 조건은 확대비(A_e/A_t) 45인 노즐을 사용하였고 STED의 입구 대 노즐목 비 $A_{ej}/A_t=54, 65, 78$, STED 2차목 대 입구비 $A_{2t}/A_{ej}=0.778$ 을 사용하였다. 2차목 길이는 STED 직경 대비 약 7을 사용하였다.

3. 결 과

Figure 1은 진공실(또는 후류 배압)에서 디퓨저의 입구 직경에 따른 배압을 나타낸다. 디퓨저 입구 직경이 증가할수록 진공실 내의 압력은 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 노즐 출구에 디퓨저를 장착함으로써 노즐의 확대비가 A_e/A_t 에서 디퓨저의 확대비(A_{ej}/A_t)로 바뀐 노즐로 변경된 것과 유사한 현상을 보여 배압이 낮아지는 것으

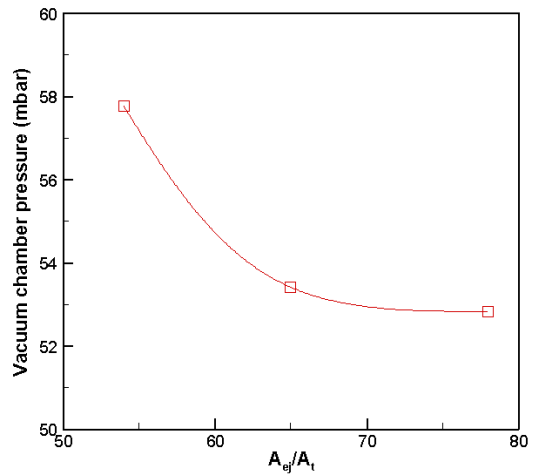


Fig. 1 Vacuum pressure according to A_{ej}/A_t

로 생각할 수 있다. 이러한 것을 고려하여 볼 때 디퓨저의 직경이 증가하면 배압은 지속적으로 낮출 수 있을 것으로 생각되나 실제로는 그렇지 않으며 노즐의 연소 조건(연소압, 연소가스 특성 등)과 노즐의 형상 등에 따라 디퓨저 입구 크기가 증가할 수 있는 최대가 존재한다. 그보다 크면 후류가 디퓨저의 입구만큼 팽창하지 못하므로 디퓨저가 작동하지 않는다. 또한 이러한 범위 내에서 크기를 계속 증가시키면 진공압은 감소할 수 있으나 디퓨저의 시동 압력비가 증가해 매우 비효율적인 디퓨저가 될 수 있으므로 입구 직경과 진공압 등에서 균형을 맞춰 최적의 형상을 찾아야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 진공실 압력을 빠르게 상대비 교하기 위해 비점성을 가정한 Euler 방정식을 지배방정식으로 채택하였으며 공기를 작동유체로 가정하였는데, 이는 상대비교를 할 수는 있어도 정확한 값을 도출하기는 어렵다. 그러므로 지배방정식도 Reynolds-Averaged Navier-Stokes 방정식을 적용하여야 하고 초음속부터 저속유동까지 고려할 수 있는 난류 모델 및 CEA[2]로부터 연소가스 조성을 계산하여 적용하여야 할 것으로 생각된다. 또한 초음속 디퓨저의 경우 진공도 뿐만 아니라 효과적으로 디퓨저가 시동할 수 있는 압력비가 매우 중요한데 정상상태 계산으로는 관찰하기 어려운 부분이 있다. 그러므로 추후

천이계산을 통해 압력비에 대한 고찰을 수행하여야 할 것으로 생각된다.

것으로 생각된다.

4. 결 론

참 고 문 헌

본 연구에서는 고고도 모사를 위한 2차목 초음속 디퓨저의 입구 크기에 따른 진공 구현 압력을 고찰하였다. 디퓨저의 입구 크기 증가에 따라 진공실의 압력은 감소하는 것을 볼 수 있었고 일정부분 이상 커지면 거의 포화되는 것을 볼 수 있었다.

추후 난류를 고려한 RANS 방정식을 고려하여 정상상태의 정밀 계산과 천이계산을 통해 디퓨저 시동 압력비에 대한 고찰을 수행하여야 할

1. 박성현, 박병훈, 임지환, 윤웅섭, “고도모사용 2차목 초음속 디퓨저 시동특성에 영향을 미치는 파라미터에 관한 연구,” 대한기계학회 2008년도 추계학술대회 논문집, 2008
2. Gordon, S. and McBride, B.J., Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications, *I.Analysis*, NASA-RP-1311, 1994