

2차 유동의 분사에 의한 제트 유동의 추력제어에 관한 연구 (Study of the Thrust Vector Control Using a Secondary Flow Injection)

정성재*, 김희동**, 안재문***, 정동호***

* 안동대학교 기계공학과 대학원, ** 안동대학교 기계공학부, ***스페이스리서치

(Email : kimhd@andong.ac.kr)

기체역학 이론에 의하면, 노즐의 공급압력과 노즐의 상세형상이 주어지는 경우에 추진 노즐로부터 방출되는 제트유동의 추력을 예측할 수 있으며, 최대추력은 노즐 출구에서 유동이 적정팽창 상태로 될 때 얻어진다. 실제의 추진 로켓에서나 다른 비상체에서는 추력의 예측뿐만 아니라, 얻어지는 추력의 방향을 적절하게 조절하여 제어하는 것이 요구된다.

종래 추력벡터 제어를 위해서 많은 연구들이 수행되었다. 일례로 추진노즐 내부에 베인(vane) 등을 삽입하여, 추력벡터를 조절하거나, 추진 노즐을 가변(movable nozzle)으로 하는 방법, 그리고 노즐내부에 2차 유동을 분사(secondary flow injection)하여 평균 추력벡터를 제어하는 방법 등이 제안되어 응용되어 왔다.

제트 베인을 이용한 방법은 노즐 내부에 베인을 설치함으로써 발생하는 충격파 시스템 등으로 인하여 큰 압력 손실이 발생하게 될 뿐만 아니라, 베인에 가해지는 열적 부하 문제 등 많은 실용적 문제가 남아 있다. 또 노즐을 가변으로 하여, 추력 방향을 제어하기 위해서는 부가적인 동력장치가 요구되므로, 비상체 무게를 증가시키는 문제점이 있을 수 있다. 2차 유동의 분사에 의한 추력제어의 경우, 노즐 내부에서 발생하는 두 유동의 복잡한 혼합과정이나 2차 유동 분사시스템의 최적설계와 관련된 많은 미해결 과제가 남아 있다.

일반적으로 2차 유동의 분사에 의한 추력벡터 제어의 하나로 최근 액체분사 추력벡터 제어(LITVC; liquid injection thrust vector control)법이 많은 관심을 받고 있다. 이 방법은 추진노즐의 벽에 설치한 분사구를 통하여 액체유동을 노즐내부의 초음속 유동 내부로 분사하여 평균추력의 방향을 변화시키는 것이다. 따라서 LITVC에서 평균 추력벡터의 변화는 2차 액체 분사유동 자체에 의한 측추력(side thrust)과, 분사유동 상류에서 발생하는 충격파 등으로 인한 압력, 그리고 초음속 주 유동 속으로 액체유동이 분사되게 되므로, 추진노즐을 통과하는 질량이나 에너지가 증가하게 됨으로써 발생하게 되는 압력 등 세가지 요인들에 의하여 발생할 것으로 기대되지만, 이에 대한 상세한 유동기구는 아직까지 잘 알려져 있지 않다.

이와 같은 추력벡터 제어 시스템의 실용화를 위해서는 요구되는 추력벡터 제어

를 위하여 필요한 최적 분사유량을 결정하는 것이 대단히 중요하며, 이를 위해서는 LITVC의 최적화가 필수적 선행되어야 한다. 또 최적분사 유량은 분사압력, 분사구의 직경과 간격, 분사구의 수 및 위치, 그리고 분사각도 등에 의하여 영향을 받게 되므로, 이들에 대한 보다 체계적인 연구가 요망된다.

본 연구에서는 LITCV의 기초적 연구의 일환으로 초음속 풍동을 이용하여, 초음속 노즐 유동내부로 분사되는 2차 공기유동장을 실험적/수치해석적으로 조사하였다. 실험에서는 설계마하수 2.9의 초음속 노즐의 공급압력을 변화시켰으며, 분사유동을 발생시키기 위하여, 노즐 측벽에 직경 3.0mm의 분사구를 설치하였다. 또 실험에서는 분사구의 위치 및 분사유동의 압력 등을 변화시켜, 노즐 내부에서 발생하는 벽압력을 측정 하였으며, 제트 유동장을 가시화 하였다. 또 수치해석에서는 압축성 Navier-Stokes방정식에 유한체적법을 적용하여 실험에서 얻어진 유동장을 예측하였다.

Fig.1과 2에는 본 연구에서 적용된 LITVC실험장치와 추진노즐을 개략적으로 나타내었으며, Fig. 3과 4에는 $\theta=0^\circ, 180^\circ$ 인 위치에서 노즐의 공급압력비 $P_o/P_a=7$ 인 경우, 2차 분사유동의 공급압력비 (P_i/P_o)의 변화에 대한 노즐 내부에서 발생하는 유동방향의 압력분포를 나타내었다.

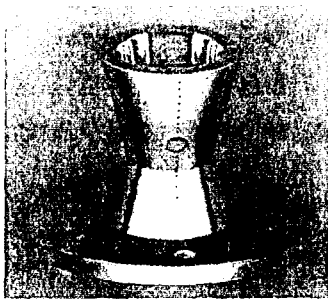


Fig. 1 The outlook of LITVC

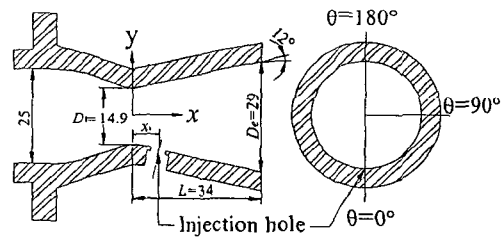


Fig. 2 Schematics of nozzle geometry

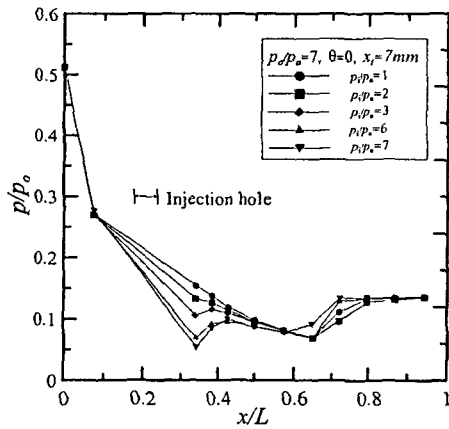


Fig. 3 Static pressure distributions

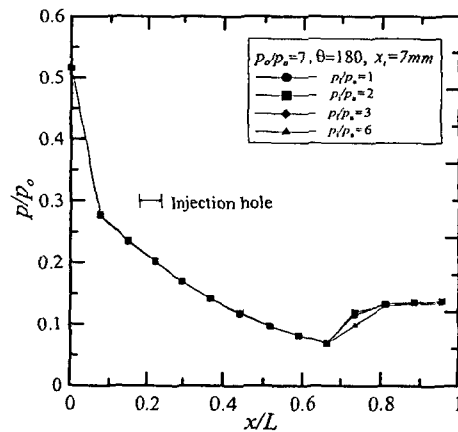


Fig. 4 Static pressure distributions