

디퓨저의 확대각이 임계노즐 유동에 미치는 영향

김재형, 김희동

안동대학교 기계공학부

(주저자 E-mail : Kimhd@andong.ac.kr)

임계노즐(critical nozzle)은 유동을 유로 최소단면부에서 초크시켜, 질량유량을 계측하기 위한 일종의 유체기구로, 최근 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다. 압축성 기체역학의 관계식에 의하면, 임계노즐을 통하는 기체유동의 이론적인 질량유량은 노즐 목의 직경, 노즐 상류의 온도와 압력 그리고 기체의 비열비 등의 함수로 주어진다. 그러나 실제 유동에서는 점성과 열전달 등의 효과로 인하여, 이론적 질량유량과 실제유량의 비 즉 유출계수(discharge coefficient)의 값은 1.0으로 되지 않는다.

종래 임계노즐 유동에 관해서는 상당히 많은 연구가 수행되었다. 이들 연구에 의하면, 임계노즐을 통하는 압축성 유동의 유출계수는 레이놀즈수의 함수로 주어지며, 레이놀즈수가 매우 큰 경우에는 유출계수의 값이 1.0에 가깝게 된다고 보고하였다. 그러나 레이놀즈수가 비교적 작은 경우 이론유량과 실제유량의 비는 1.0보다 현저하게 작아지게 되며, 이 경우 임계노즐을 통하는 질량유량의 계측이 사실상 매우 곤란해진다.

일반적으로 유출계수의 값이 레이놀즈수의 함수로 주어진다는 것은 노즐을 통하는 질량유량이 노즐 목의 하류 즉 디퓨저 내에서 발생하는 유동특성에 의존하지 않고, 노즐 상류에서 주어지는 상태량 들에 의하여 결정된다는 것을 의미한다. 그러나 실제유동의 경우 디퓨저에서 발생하는 감속유동이나 충격파 등은 필연적으로 압력손실을 수반하게 되므로, 임계노즐 유동의 유효압력비에 영향을 미치게 된다. 이러한 사실은 노즐 목에서 유동이 초크하는 압력비 이상에서도 발생하게 되므로, 디퓨저에서 발생하는 유동의 특성을 이해하는 것은 임계노즐의 유출계수를 결정하는데 있어서 매우 중요하다.

종래 연구결과들에 의하면, 임계노즐의 임계압력비가 노즐의 단면적비로 주어질 수 있다고 보고하고 있으나, 디퓨저 확대부의 형상 즉 디퓨저 확대부의 각도 등은 실제 유효 임계압력비에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 디퓨저의 확대부의 길이가 일정한 경우, 디퓨저의 확대각이 변화에 따른 임계노즐 유동의 변화를 조사하기 위하여, 축대칭 압축성 Navier-Stokes 방정식에 유한 체적법을 적용하여 수치계산을 수행하였다. 수치계산의 타당성은 유용한 실험결과를 이용하여 검증하였으며, 본 연구의 수치계산법으로 디퓨저의 확대각이 유출계수에 큰 영향을 미친다는 것을 알았다.

Fig. 1은 본 연구에 적용된 유동장의 개략도이며, Fig. 2는 정렬 격자계를 나타낸다. Fig. 3에는 작동압력비 변화에 따른 질량유량의 변화를 실험결과와 비교하였다. Fig. 4는 노즐의 확대 반각이 4° 일 경우, 노즐의 중심축을 따르는 국소 정압의 변화를 나타낸다.

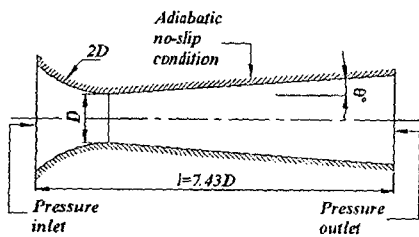


Fig. 3 Schematic diagram of a critical nozzle



Fig. 2 Computational grid system

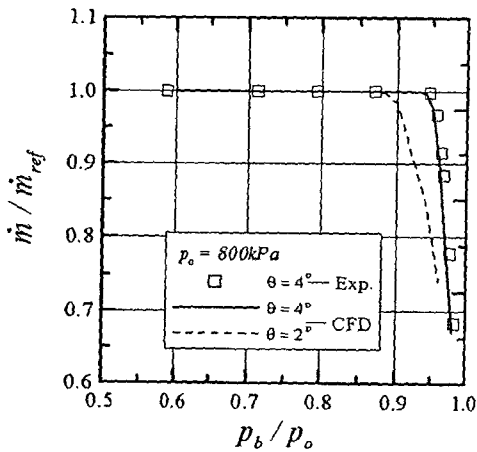


Fig. 5 Variation of mass flow rate with pressure ratio

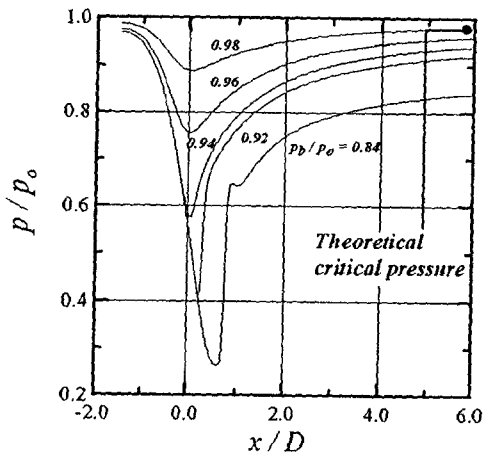


Fig. 6 Static pressure distributions along the axis ($\theta = 4^\circ$)