

수직평판에 충돌하는 초음속, 이중, 동축 제트유동에 관한 실험적 연구

(Experimental Study of the Supersonic Dual, Coaxial Jet Impinging on a Flat Plate)

김중배*, 이준희*, 우선훈*, 이장창**, 김희동**

* 안동대학교 기계공학과 대학원 , ** 안동대학교 기계공학부

(Email : kimhd@andong.ac.kr)

일반적으로 노즐이나 오리피스로부터 방출되는 초음속 단일 자유제트 유동의 경우, 제트내부에서 발생하는 충격파 시스템이나, 제트경계의 형상 그리고 제트코어의 길이 및 초음속 영역의 길이 등은 종래의 연구로부터 비교적 잘 알려져 있다. 이들 연구에 의하면, 제트의 압력비가 어느 정도 증가하게 되면, 노즐 하류에서 제트내부에는 마하 디스크가 발생하게 되며, 제트유동은 압축과 팽창을 반복하는 구조로 된다. 또 노즐 출구로부터 마하 디스크까지의 거리와 마하 디스크의 직경 등은 노즐의 압력비의 함수로 주어진다고 알려져 있다.

이와 같은 하나의 노즐로부터 방출되는 초음속 제트와는 달리 1차제트류의 주위에 2차제트 유동이 방출되는 초음속 이중 동축제트(supersonic dual coaxial jet)는 최근 제트소음 경감, 추력 증강 등의 목적뿐만 아니라 금속재료를 절단하기 위한 산업기계로도 널리 활용되고 있으나, 이에 관한 연구 사례는 아직까지 많지 않다. 지금까지 수행된 초음속 이중 동축 제트에 관한 연구들은 모두 제트가 대기 상태의 자유공간에 방출되는 자유제트에 관한 것이며, 금속 모재의 절단이나 코팅 또는 가공 등에 사용되는 초음속 이중 동축 제트는 작업시 모재와 충돌하게 되므로, 종래 자유제트에 관한 연구결과만으로는 충돌제트 유동장을 이해하기가 곤란하다.

본 연구에서는 수직 평판에 충돌하는 초음속 이중 동축제트의 유동장을 조사하기 위하여, 실험을 수행하였다. 실험에서는 충돌판의 거리와 각도, 주제트 및 보조제트의 압력 등을 변화시켜 충돌판에서 발생하는 압력 분포를 상세하게 측정하였으며, 또 쉘리렌 및 샤도우 가시화법을 이용하여 충돌제트의 유동장을 정성적으로 관찰하였다.

Fig.1에는 평판에서 발생하는 충돌압력의 분포를 나타내었다. 그림에서 z/D_e 및 y/D_e 는 동축제트 중심축을 원점으로 하는 평판상의 거리이며, P_i/P_o 는 평판에서 발생하는 압력(P_i)을 대기압(P_o)으로 무차원한 값을 나타낸다. 또 그림에서 P_{op} 와 P_{os} 는 각각 주제트의 공급 압력 및 보조제트의 공급 압력이다. x/D_e 는 노즐 출구면과 평판과의 거리 x 를 노즐 출구직경 D_e 로 무차원한 값을 나타낸다. 그림에서 P_i 의 피크값이 충돌판 중심에 있지 않고 $z/D_e=0.615$ 부근에 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 충돌판 중심부근에서 발생하는 plate shock과 마하 디스크에 기인한다. Fig.2에는 $P_{op}/P_o=10$, $P_{os}/P_o=4.0$ 인 경우 x/D_e 에 따른 충돌 유동장의 변화를 나타내었다.

Fig.3에는 $P_{op}/P_o=10$ 으로 고정하고, P_{os}/P_o 의 증가에 따른 평판 중심에서의 충돌전압 P_{ic} 를 x/D_e 의 함수로 나타내었다. 보조제트가 없는 경우와 있는 경우, 즉 $P_{os}/P_o > 1.0$ 경우의 P_{ic}/P_o 는 상당히 다른 경향을 보이고 있다. Fig.4는 동일한 압력비, 즉 $P_{op}/P_o=10$, $P_{os}/P_o=2.0, 3.0$ 에 대해서 측정한 충돌전압(P_{ic})과 피토펙전압(P_{pc})을 비교하였다. P_{pos}/P_o 는 피토펙전압, P_{ios}/P_o 는 충돌전압의 보조제트 압력비를 나타낸다. 그림의 결과로부터 충돌제트와 자유제트의 유동장은 차이가 남을 알 수 있으며, 특히 $x/D_e=2$ 에서 4까지의 영역에서 큰 차이를 보인다.

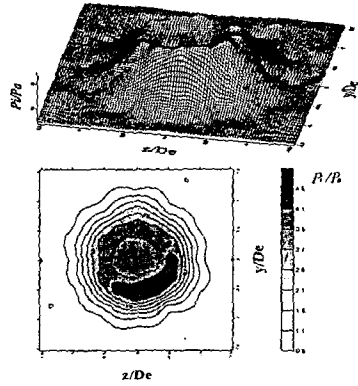


Fig. 1 Pressure contours of dual coaxial jets ($P_{op}/P_o=8.0$, $P_{os}/P_o=2.0$, $x/D_e=2.0$)

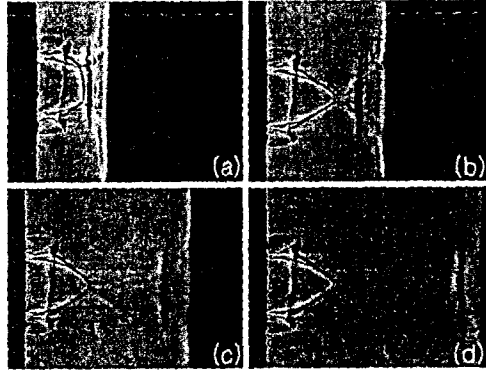


Fig. 2 Shadowgraphs of coaxial impinging jets ($P_{op}/P_o=10$, $P_{os}/P_o=4.0$) (a) $x/D_e=2.0$, (b) $x/D_e=3.0$, (c) $x/D_e=4.0$ (d) $x/D_e=5.0$

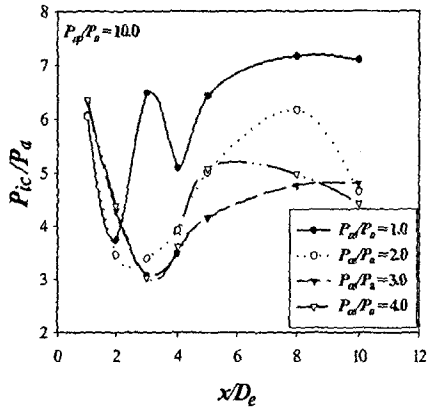


Fig. 3 Impact pressure distributions along nozzle axis ($P_{op}/P_o=10$)

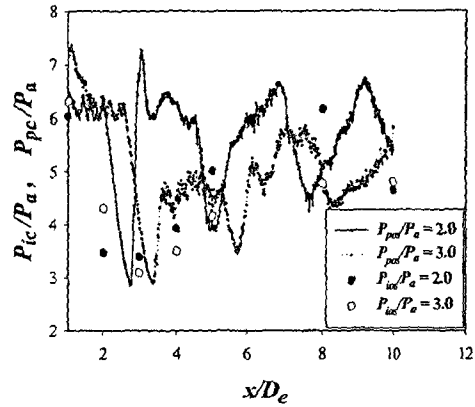


Fig. 4 Impact pressure along nozzle axis