

# Petal 노즐로부터 방출되는 초음속 자유제트에 관한

## 실험적 연구

### (An Experimental Study on the Supersonic Free Jet Discharged from a Petal Nozzle)

이준희\*, 권용훈\*, 정미선\*, 이장창\*\*, 김희동\*\*

\* 안동대학교 기계공학과 대학원, \*\* 안동대학교 기계공학부

(Email : kimhd@andong.ac.kr)

노즐로부터 방출되는 초음속 제트유동의 특성은 노즐의 공급압력과 배압의 비에 따라 결정된다. 노즐 배압에 상대적인 노즐 출구면에서 발생하는 압력의 크기에 따라 제트 유동은 과팽창, 적정팽창, 그리고 부족팽창의 형태로 된다. 종래 주로 단면이 원형인 초음속 노즐로부터 방출되는 자유제트에 관하여 많은 연구가 수행되어, 제트 유동의 특성이 비교적 잘 알려져 있다. 이들 연구 결과에 의하면, 제트 내부에서 발생하는 충격파 시스템은 노즐 출구면에서 유동의 팽창상태에 의존하게 되며, 제트 유동은 주위의 기체를 혼입(entrainment)하여, 유동의 하류방향으로 제트 폭이 확대되며, 유속은 감소하게 된다.

초음속 제트가 노즐로부터 방출되는 경우에 주위 기체를 혼입하게 되는 정도는 제트의 감쇠와 코어의 길이 그리고 폭 등에 결정적인 영향을 미치게 된다. 일반적으로 초음속 제트 내부로 주위 기체의 혼입은 제트내부에서 발생하는 압력강하와 주변의 정지기체와 고속 제트류 사이에 발생하는 전단작용에 기인하게 된다.

최근 초음속 제트류와 주위기체의 전단작용을 변화시키기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 예를 들면 초음속 Coherent Jet의 경우 초음속 제트내부로 주위기체의 혼입을 억제하여, 제트 코어의 길이를 대폭적으로 증가시키는 방법이 여러 산업분야에 응용되고 있다. 이 방법은 주위 기체의 압력을 낮추어, 초음속 제트내부에서 발생하는 압력과의 차이를 줄이는 것으로, 주로 제철회사의 산소 전로제트 등에서 이용하고 있다.

한편 초음속 이젝터 시스템이나 서로 다른 기체의 혼합축진을 필요로 하는 공업 응용에서는 제트류의 전단작용을 증대시키기 위하여, 노즐출구의 형상을 꽃잎모양으로 한 페탈노즐(petal nozzle or lobed nozzle)을 제안하고 있다. 이러한 페탈노즐로부터 방출되는 초음속 유동은, Fig.1에 모식적으로 나타낸 바와 같이, 노즐 출구단면 꽃잎모양의 주축과 보조축에서 유동의 특성길이가 다르게 되므로, 유동방향의 강한 와류가 형성되어 전단작용을 크게 하게 된다. 이러한 와류에 의하여 초음속 제트내부로 주위 기체의 혼입은 크게 증가할 것으로 예상된다. 더욱이 이와 같은 유동방향의 와류는 초음속 제트류의 혼합축진에도 크게 기여할 것으로 예상되지만, 현재까지 이에 관한 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 페탈노즐로부터 방출되는 초음속 자유제트 유동의 특성을 실험적으로 조사하였다. Fig.1에는 본 실험에서 사용한 페탈노즐의 상세형상을 나타내었다. 그림에 나타난 페탈노즐은 노즐목의 면적과 노즐 출구면의 등가면적비로 환산한 설계마하수가 1.54이며, 미소 전압관을 이용하여 초음속 제트유동 내부의 전압력을 상세하게 측정하였다. 또 쉘리렌 장치를 이용하여, 페탈노즐 유동장을 광학적으로 관찰하여 제트 내부에서 발생하는 충격파 시스템의 구조를 조사하였다. Fig.2는 자유제트 유동중심의 축방향으로 전압분포를 나타낸 것으로 횡축은 노즐출구에서 하류방향으로의 거리  $x$ 를 노즐 출구의 등가직경( $D_e$ )으로 무차원한 것이며, 종축은 외경 0.5mm인 pitot tube에 의해 측정된 총돌압력을 정체실 압력  $p_0$ 로 무차원한 값이다. Fig.3은  $p_0/p_a=7.0$ 인 경우의 페탈노즐로부터 방출되는 초음속 자유제트 유동장을 쉘리렌 시스템으로 가시화한 사진이다.

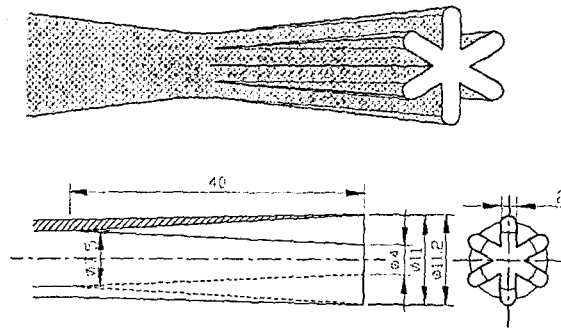


Fig.1 Schematics of nozzle geometry

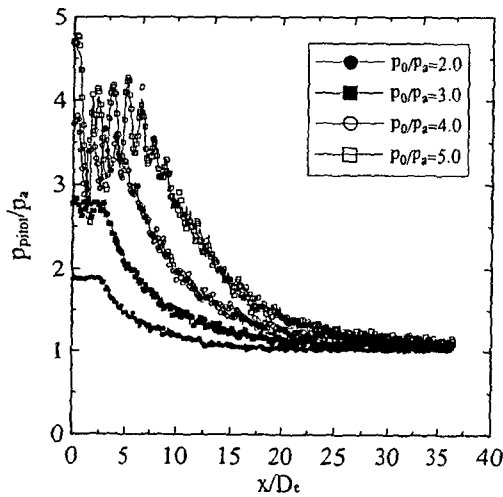


Fig.2 Impact pressure distributions along the free jet centerline

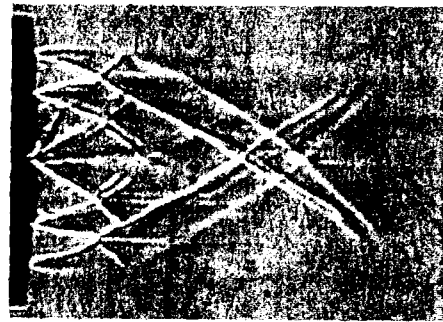


Fig.3 Schlieren picture ( $p_0/p_a=7.0$ )