

초음속 마이크로 제트유동에 관한 기초적인 연구

정미선*, 김현섭*, 김희동*

*안동대학교 기계공학부

(주저자 E-mail : kimhd@andong.ac.kr)

직경이 매우 작은 노즐로부터 방출되는 제트유동은 최근 들어 여러 기계가공분야 뿐만 아니라 의공학 분야에서도 광범위하게 활용되고 있다. 예를 들면 마이크로 제트는 TV브라운관이나 각종 액정의 마스크링, 분자빔 장치, 각종 가공물의 크리닝, 반도체 제작공정, 각종 마이크로 장치 등 공학분야에 광범위하게 활용되고 있다. 더욱이 최근 가축이나 인체의 질병 치료에 주사바늘의 사용이 감염부작용을 일으킬 뿐만 아니라 주사바늘의 사용 후 처리 등의 사회적인 문제로 인하여 주사바늘을 사용하지 않고, 마이크로 제트를 이용하여 직접 약물을 인체나 가축 또는 식품 등에 투여하는 방법이 세계적으로 주목을 받고 있다. 마이크로 노즐로부터 방출되는 제트 유동은 제트의 공급압력이 대기압의 2배를 능가하게 되면, 노즐 출구에서 유동은 초음속으로 될 수 있다. 그러나 마이크로 제트 유동특성은 노즐벽면에서 발생하는 경계층 등의 점성의 영향이 지배적으로 되어, 큰 스케일의 초음속 제트 유동과는 매우 다를 수 있다.

현재까지 이와 같은 초음속 마이크로 제트 유동특성은 잘 알려져 있지 않으며, 이에 관한 연구는 매우 부진한 실정에 있다. 이것은 초음속 마이크로 제트 유동을 실험적으로 측정하는 것은 극히 곤란하며, 노즐의 제작 또한 용이하지 않기 때문이다. 고도로 정밀한 가공을 한다고 하더라도 노즐 벽면의 표면조도는 노즐 직경의 수 퍼센트 내지 수십 퍼센트가 될 수 있으므로, 노즐 출구에서 발생하는 제트유동은 사용되는 노즐에 따라 달라지게 될 수 있다.

마이크로제트 유동의 경우, 제트 유동을 지배하는 유동의 특성길이가 매우 작으므로 제트의 공급압력이 비교적 낮은 경우에 제트 유동은 층류상태로 될 것이 예상되며, 제트의 공급압력이 증가하는 경우에 제트유동은 난류로 천이하게 될 것으로 판단된다. 이 경우 마이크로제트 유동의 특성은 층류냐 혹은 난류냐에 따라 크게

변화하게 되지만, 이에 대한 구체적 연구사례는 드물다.

본 연구에서는 Navier-Stokes 방정식을 이용한 수치계산을 수행하여, 초음속 마이크로 제트유동의 상세 구조를 조사하였다. 수치계산에서는 여러 형태의 난류모델을 적용하여, 유용한 실험결과와 비교하였으며, 노즐의 압력비 및 레이놀즈수가 제트 내부에서 발생하는 압력분포와 유동장 등에 미치는 영향을 조사하였다. 또 본 연구에서는 두 형태의 노즐(즉, 음속 노즐과 초음속 노즐)로부터 방출되는 제트 유동을 해석하여, 두 마이크로 제트유동의 특성을 비교하였다.

Fig.1은 노즐 출구에서 적정팽창을 하는 마이크로 제트 유동장의 개략도를 나타낸 그림이다. Fig.2는 초음속노즐에서 제트유동이 적정팽창을 하는 경우 레이놀즈수의 변화에 따른 마하 선도를 나타낸 그림이다. Fig.3은 압력비의 변화에 따른 제트의 Supersonic Length의 변화를 각각의 난류모델에 대해 나타내었으며 실험값과 비교하였다.

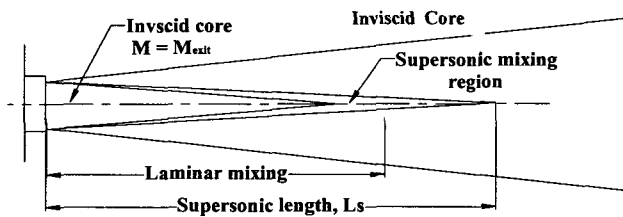
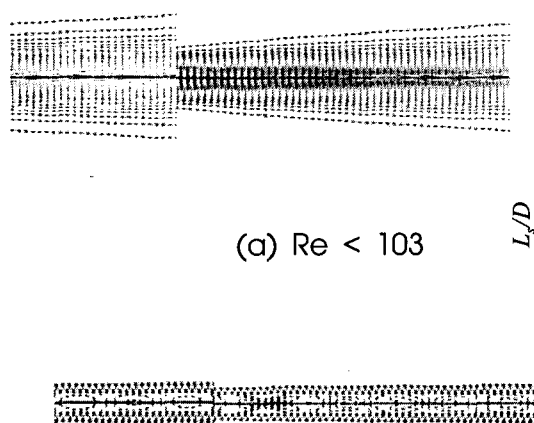


Fig.1 Schematic diagram of microjet flow



(b) $104 < Re < 105$

Fig.2 Mach contour of supersonic

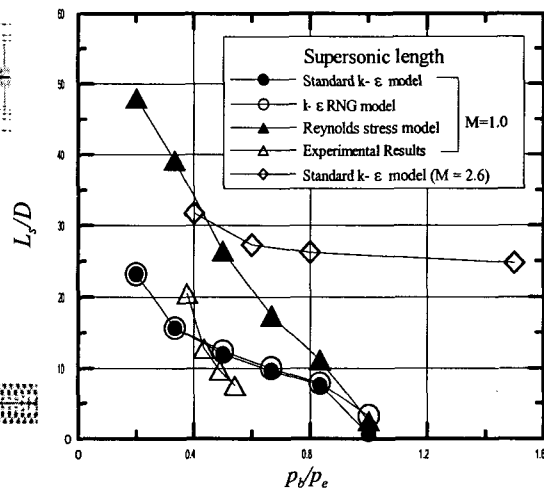


Fig.3 Supersonic length of sonic/supersonic microjet